

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

APLICACIÓN DEL ÍNDICE NORMALIZADO DE PRECIPITACIÓN PARA EL
ESTUDIO DE LAS SEQUÍAS EN COSTA RICA DURANTE EL PERIODO 1981-2010

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del
Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias de la Atmósfera para optar al grado y título
de Maestría Profesional en Meteorología Operativa

JUAN DIEGO NARANJO DÍAZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2019

Agradecimientos

Agradezco a mi familia, quienes siempre estuvieron a mi lado apoyándome a lo largo del programa de maestría y que concluye con este trabajo de investigación; viendo las extensas jornadas de estudio y esfuerzo necesarias para alcanzar este logro personal y profesional. A Natalia Arias por darme ánimos y tranquilidad en momentos de estrés; aun cuando el tiempo parecía que se agotaba, siempre encontró la forma de enfocar me de nuevo en el trabajo y terminar.

Agradecer al Doctor Hugo Hidalgo León por aceptar ser el director de mi investigación, al Doctor Erick Rivera y Doctor Tito Maldonado como lectores; ya que con sus guía y comentarios ayudaron a que este trabajo terminara de la mejor forma.

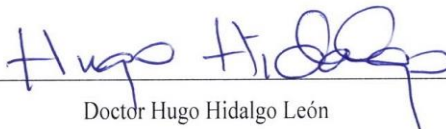
Finalmente, dar gracias al Comité Regional de Recursos Hidráulicos por darme los recursos económicos para estudiar el programa de maestría, y por introducirme en este tema de las sequías y su seguimiento en uno de sus tantos talleres y programas que buscan desarrollar capacidades para América Central en el campo de la meteorología.

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias de la Atmósfera de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Meteorología Operativa.”



Doctora Gabriela Mora Rojas

Representante del Decano Sistema de Estudios de Posgrado



Doctor Hugo Hidalgo León

Profesor Guía



Doctor Erick/Rivera Fernández

Lector



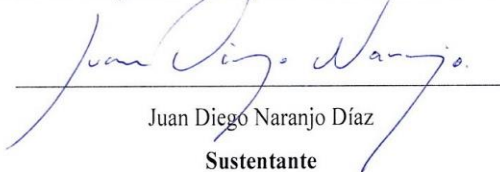
Doctor Tito Maldonado Mora

Lector



Doctora Ana María Durán Quesada

Directora del Programa de Posgrado en Ciencias de la Atmósfera



Juan Diego Naranjo Díaz

Sustentante

Tabla de contenido

Portada.....	i
Agradecimientos	ii
Hoja aprobación.....	iii
Tabla de contenido.....	iv
Resumen.....	vi
Lista de Tablas	vii
Lista de Figuras.....	ix
Capítulo 1	1
Introducción	1
Delimitación y justificación del problema	2
Objetivo General	5
Objetivos específicos	5
Capítulo 2	6
Marco teórico	6
2.1 Definición histórica del fenómeno sequía.....	6
2.2 El Índice Normalizado de Precipitación (SPI)	12
2.3 Características de la precipitación en Costa Rica.....	15
2.4 Fenómenos moduladores de las precipitaciones en Costa Rica	17
Capítulo 3	19
Metodología de estudio.....	19
Datos	24
Capítulo 4	27
Análisis de resultados	27
4.1 Identificación de los años secos y lluviosos.....	27
4.1.1 Patrones atmosféricos y oceánicos predominantes en los años secos y lluviosos.....	30
4.2 Comparación de las definiciones de sequía del IMN y el SPI	35
4.2.1 Aplicación de la definición de sequía del IMN.....	35
4.2.2 Cálculo de la Anomalía Normalizada a las series de precipitación.....	36

4.2.3 Aplicación de la definición de sequía utilizando el SPI-12.....	39
4.3.3 Comparación de la Anomalía Normalizada de Precipitación y el SPI.....	41
4.3 Caracterización de las sequías usando el SPI.....	43
4.3.1 Caracterización entre vertientes usando SPI-12.....	43
4.3.2 Caracterización entre regiones climáticas usando SPI-12.....	45
4.3.3 Análisis de las épocas lluviosas de 1981 a 2010 utilizando el SPI-6.....	47
4.4 Fuentes generadores de sequía en Costa Rica y el SPI	51
4.4.1 El fenómeno ENOS y la relación del SPI en las épocas lluviosas 1981-2010.....	51
4.4.2 Relación de la sequía con las Oscilaciones Multidecenales.....	59
Capítulo 5	71
Conclusiones y recomendaciones.....	71
Conclusiones	71
Recomendaciones.....	73
Propuesta de protocolo para el uso de SPI dentro del Instituto Meteorológico Nacional	75
Bibliografía.....	77
Apéndice	84
Figuras.....	84
Tablas	95

Resumen

Esta investigación trata sobre la aplicación del Índice Normalizado de Precipitación (SPI por sus siglas en inglés) como instrumento para el estudio de sequías en Costa Rica durante el periodo de 1981-2010, con el propósito que este índice sea adoptado por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) como herramienta operativa para el seguimiento de las sequías en el país. Se comparan los eventos, las intensidades y la duración de las sequías que fueron identificados por la definición actual del IMN como por el SPI. También, se analizan las épocas lluviosas del periodo de estudio, y el impacto del fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) registrados en ellas. Además, se explora la posible relación entre las oscilaciones multidecenales con periodos prolongados de sequía.

Lista de Tablas

Tabla 1. Valores del Índice Normalizado de Precipitación	13
Tabla 2. Clasificación de los deciles.....	22
Tabla 3. Valores del Índice Normalizado de Precipitación propuestos para Costa Rica.....	23
Tabla 4. Nómina de estaciones meteorológicas	25
Tabla 5. Promedio anual de las precipitaciones en las regiones climáticas del país	28
Tabla 6. Años más lluviosos y secos del periodo 1981-2010.....	29
Tabla 7. Periodos con sequía utilizando el criterio del IMN en el periodo 1981-2010	36
Tabla 8. Periodos secos utilizando el criterio del IMN en el periodo 1981-2010	36
Tabla 9. Clasificación de la lluvia acumulada en deciles y su respectiva anomalía normalizada de la precipitación (1981-2010). Fuente: clasificación de BAMS usando datos propios.	37
Tabla 10. Periodos de sequía durante el periodo de 1981-2010 de acuerdo con el índice del ANP a nivel nacional	38
Tabla 11. Periodos de sequía utilizando el criterio del ANP en el periodo 1981-2010.....	39
Tabla 12. Periodos de sequía durante el periodo de 1981-2010 de acuerdo con el índice del SPI-12 a nivel nacional.	40
Tabla 13. Periodos de sequía durante el periodo de 1981-2010 de acuerdo con el índice del SPI-12 a nivel nacional	40
Tabla 14. Coeficientes de correlación de Pearson entre el ANP y el SPI por región climática	43
Tabla 15. Años con las épocas lluviosas más lluviosos y secos del periodo 1981-2010.....	49
Tabla 16. Clasificación de las fases del ENOS en el periodo 1981-2010 con base en el Índice Oceánico del Niño (ERSSTv5).....	52
Tabla 17. Clasificación de las épocas lluviosas durante los años de la fase cálida del ENOS o El Niño	53
Tabla 18. Clasificación de las épocas lluviosas durante los años de la fase fría del ENOS o La Niña	54
Tabla 19. Clasificación de las épocas lluviosas durante los años de fase neutral del ENOS.....	55

Tabla 20. Signo de los índices de la PDO y AMO que ocasionan escenarios lluviosos o secos prolongados utilizados con el SPI24.....	61
Tabla 21. Tabla de contingencia entre la PDO y el SPI-24	63
Tabla 22. Tabla de contingencia entre la AMO y el SPI-24	63

Lista de Figuras

Figura 1. Relación entre los diferentes tipos de sequía y la duración de los eventos secos. Fuente: Wilhite and Glantz (1983)	9
Figura 2. Distribución normal estándar relacionada con el índice normalizado de precipitación, teniendo un promedio de cero y una varianza de uno. Fuente: Edwards y McKee,1997.....	13
Figura 3. Regiones climáticas de Costa Rica. Fuente: Instituto Meteorológico Nacional. .	16
Figura 4. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas mecánicas utilizadas para el estudio.	26
Figura 5. Promedio del acumulado anual de las precipitaciones en todas las estaciones durante el periodo de 1981-2010. Línea sólida representa el promedio anual de 2963,7 mm.	28
Figura 6. Promedio del acumulado anual de las precipitaciones en todas las estaciones por vertiente durante el periodo de 1981-2010.	29
Figura 7. Anomalía promedio del viento en el nivel atmosférico de 925 hPa en los años con menores acumulados - 1983,1985,1986,1987,1992 -. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.....	31
Figura 8. Anomalía promedio de la presión atmosférica al nivel del mar, en los años con menores acumulados - 1983,1985,1986,1987,1992 -. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.....	31
Figura 9. Anomalía promedio de radiación saliente de onda larga en los años con menores acumulados - 1983,1985,1986,1987,1992 -. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.....	32
Figura 10. Anomalía promedio de la temperatura superficial del mar, en los años con menores acumulados - 1983,1985,1986,1987,1992 -. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.....	32
Figura 11. Anomalía promedio de: a) el viento en el nivel atmosférico de 925 hPa en los años con mayores acumulados -1988-1996-2007-2008-2010-. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.....	33

Figura 12. Anomalía promedio de la presión atmosférica al nivel del mar en los años con mayores acumulados -1988-1996-2007-2008-2010-. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.....	34
Figura 13. Anomalía promedio de radiación de onda larga en los años con mayores acumulados -1988,1996,2007,2008,2010 -. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.....	34
Figura 14. Anomalía promedio de la temperatura superficial del mar, en los años con mayores acumulados -1988,1996,2007,2008,2010 -. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.....	35
Figura 15. Anomalía normalizada de la precipitación (ANP) anual en todas las estaciones meteorológicas durante el periodo de 1981-2010.....	38
Figura 16. Anomalía normalizada de la precipitación (SPI)anual en todas estaciones durante el periodo de 1981-2010.	39
Figura 17. Número de estaciones meteorológicas dentro del escenarios secos ($SPI \leq -0.5$), normal (SPI entre ± 0.5) y lluvioso ($SPI \geq +0.5$) aplicando el SPI-12 durante el periodo 1981-2010.	41
Figura 18. Comparación entre la anomalía normalizada de la precipitación promedio (ANP) y el SPI promedio a escala de 12 meses de todas las estaciones durante el periodo de 1981-2010.	42
Figura 19. Promedio anual del SPI-12 en la Vertiente del Pacífico y la Vertiente del Caribe durante el periodo 1981-2010.	44
Figura 20. SPI-12 anual de las estaciones de Liberia y Limón durante el periodo 1981-2010.	45
Figura 21. Promedio anual del SPI-12 de las estaciones en las regiones del Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur y Valle Central durante el periodo 1981-2010.	46
Figura 22. Promedio anual del SPI-12 de las estaciones en las regiones del Caribe y Zona Norte durante el periodo 1981-2010.	47
Figura 23. Acumulado de lluvias de las épocas lluviosas en la Vertiente del Pacífico y la Vertiente del Caribe durante el periodo de 1981-2010.....	48

Figura 24. Número de estaciones meteorológicas dentro del escenarios secos ($SPI \leq -0.5$), normal (SPI entre ± 0.5) y lluvioso ($SPI \geq +0.5$) aplicando el SPI-6 durante el periodo de 1981-2010.	50
Figura 25. Serie de tiempo con el Índice Oceánico del Niño (ONI). En rojo, eventos fuertes de El Niño; en azul, evento fuerte La Niña; en negro, eventos moderados para ambas fases. Fuente: CPC-NOAA periodo 1981-2010	51
Figura 26. Promedio regional del SPI-6 en época lluviosa durante en el año El Niño de 1997.	56
Figura 27. Promedio regional del SPI-6 en época lluviosa durante el año La Niña de 1988.	57
Figura 28. Promedio regional del SPI-6 en época lluviosa durante en el año La Niña de 2000-2001.	57
Figura 29. Promedio regional del SPI-6 en época lluviosa durante el año El Niño de 2006.	58
Figura 30. Promedio regional del SPI-6 en el año El Niño de 2009.	59
Figura 31. Relación de las componentes principales utilizando el SPI-24 entre las estaciones meteorológicas.	60
Figura 32. Valores mensuales de la PDO y la AMO durante el periodo de 1950-2010.....	61
Figura 33. Comparación SPI24 con las oscilaciones multidecenales.	62
Figura 34. Valores promedio del SPI-24 de las estaciones de la Vertiente del Pacífico (azul) y la Vertiente del Caribe (naranja) durante el periodo de 1950 al 2010.	64
Figura 35. Relación del SPI-24 en la Vertiente del Pacífico y PDO.	65
Figura 36. Relación del SPI-24 en la Vertiente del Pacífico y AMO.	65
Figura 37. Relación del SPI-24 en la Vertiente del Caribe y PDO.	66
Figura 38. Relación del SPI-24 en la Vertiente del Caribe y AMO.	67
Figura 39. Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación de Argentina de Grecia con el periodo de 1950-2010.....	68
Figura 40. Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación del Quebrada Azul con el periodo de 1960-2010	68

Figura 41. Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación de Limón con el periodo de 1950-2010	68
Figura 42. Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación del CATIE con el periodo de 1950-2010	69
Figura 43. Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación de Llano Grande de Liberia con el periodo de 1960-2010	69
Figura 44. Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación de Pocares con el periodo de 1950-2010	70
Figura 45. Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación de la estación Coto 47 con el periodo de 1950-2010.	70



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Juan Diego Naranjo Díaz, con cédula de identidad 2-0577-0962, en mi condición de autor del TFG titulado APLICACIÓN DEL ÍNDICE NORMALIZADO DE PRECIPITACIÓN PARA EL ESTUDIO DE LAS SEQUÍAS EN COSTA RICA DURANTE EL PERIODO 1981-2010

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI ☒ NO * ☐

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Juan Diego Naranjo Díaz

Número de Carné: A12539 Número de cédula: 2-0577-0962

Correo Electrónico: jdiegonaranjo@gmail.com

Fecha: 29 de enero de 2020 Número de teléfono: 8866-0423

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Doctor Hugo Hidalgo León


FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

Capítulo 1

Introducción

“Diego, ¿cuándo llueve en el Bajo?”

Franklin Naranjo Vargas

La sequía es un fenómeno meteorológico que ocasiona grandes impactos en la sociedad, ya que muchas de sus actividades diarias están relacionadas con la disponibilidad del agua como son: la agricultura, la generación eléctrica o el consumo humano de agua potable, entre otros.

América Central forma parte de las regiones vulnerables a la variabilidad de las precipitaciones. Dentro de ella, se encuentra el área denominada el Corredor Seco Centroamericano (CSC), localizada a lo largo de la costa pacífica de la región y se extiende desde Chiapas en México hasta Guanacaste en Costa Rica. La Asociación Mundial para el Agua (GWP por sus siglas en inglés), en su hoja informativa llamada “Sequía en Centroamérica”, expuso que en el 2014 “un millón de hogares viven de la agricultura de subsistencia en el Corredor Seco en Centroamérica y están menos preparados para enfrentar períodos de sequía extremos” (GWP, 2014).

Durante la sequía asociada al fenómeno de El Niño de 1997-1998, en la región se cuantificó una disminución entre el 15% y 20% de la producción de cereales y frijoles en 1997, en comparación con 1996; siendo esto contabilizado como parte de los \$475 millones de pérdidas que tuvo el sector agropecuario durante ese evento. Además, a causa de la escasez de humedad en el suelo, en 1998 proliferaron los incendios forestales en la región, viéndose afectadas cerca de 3 000 000 de hectáreas de área forestal (Bonilla, 2014).

GWP, en su reporte “Análisis socioeconómico del impacto sectorial de la sequía de 2014 en Centroamérica”, concluye que “el costo asociado a la sequía 2014 se estima en más de \$650 millones de dólares para Centroamérica. Esto se debe a mayores costos incurridos para la generación eléctrica, la provisión de agua potable y grandes pérdidas en el sector agrícola”.

En Costa Rica, durante la sequía en las regiones del Caribe entre 2009-2013, según el Instituto de Acueductos y Alcantarillados (A y A) se dejó de percibir entre 40% y 45% de las precipitaciones en estos lugares, ocasionando una disminución de los mantos acuíferos que se encuentran en las montañas al norte del Valle Central, dejando alrededor de 150 000 personas en el Gran Área Metropolitana sin servicio de agua potable durante marzo de 2014 (La Nación, 2014). Mientras tanto, la sequía ocasionada por el fenómeno de El Niño 2014-2015, ha sido la peor sequía registrada desde 1930 según el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), e hizo que el Gobierno de Costa Rica declarase emergencia nacional por “calamidad pública ocasionada por hechos de la naturaleza” (La Gaceta, 2014, p.2). De acuerdo con datos oficiales por parte del gobierno, en el 2015 ya se tenían pérdidas por al menos \$25 millones en agricultura y ganadería (La Nación, 2015).

Debido a los altos costos que implica la recuperación de los daños causados por las sequías, tener herramientas e infraestructuras preventivas para la mitigación de sus impactos se vuelve de suma importancia; ya que, con información adecuada y oportuna para las zonas más sensibles a la sequía, se puede reducir la vulnerabilidad de la población a este fenómeno, así como mantener la estabilidad económica, hídrica y alimentaria del país.

Delimitación y justificación del problema

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) es la institución a cargo en Costa Rica de vigilar las condiciones atmosféricas e identificar los fenómenos meteorológicos que pudieran ocasionar eventos extremos hidrometeorológicos y modular la variabilidad climática a nivel nacional. Tomando esto en cuenta, Retana (2013) en su artículo “Un sistema de alerta temprana de sequías basado en el fenómeno El Niño” propone un protocolo para el seguimiento de la sequía en el país, con el objetivo de generar información necesaria para el sector agropecuario y mitigar el impacto que el fenómeno tiene dentro de este grupo de usuarios. Este sistema de alerta temprana “consta de seis fases que se desarrollan progresivamente de acuerdo con el grado de evolución de El Niño y su impacto sobre el sector agrícola” (Retana, 2013). Sin embargo, este sistema solo se activa cuando el fenómeno de El Niño está presente, dejando de lado otros fenómenos meteorológicos que también pueden ocasionar sequía y en los cuales este protocolo también puede utilizarse para la atención de este fenómeno.

En el 2008, el IMN publica el documento “El Clima, Variabilidad y el Cambio Climático”, donde propone una definición de sequía para el país. Explica que “la sequía para Costa Rica se definirá cuando las precipitaciones anuales se encuentren por debajo de su primer quintil” (p.42).

La definición anterior solamente toma en cuenta los déficits de precipitación de forma anual, lo cual convierte a esta definición en poco práctica para realizar un seguimiento operativo de la sequía, como ocurriría con cualquier otro fenómeno atmosférico, hidrológico y/o socioeconómico. Al mismo tiempo que, incumple con la expectativa de un seguimiento en tiempo real requerida por un sistema de gestión del riesgo para llevar a cabo las medidas preventivas que conlleva el desarrollo de este fenómeno.

La ocurrencia de sequías está asociada principalmente con factores de variabilidad climática, las cuales se desarrollan en termino de semanas, meses, e incluso años; ocasionando una disminución severa de lluvias por largos periodos de tiempo, haciendo que se considere a las sequías como fenómenos de muy lenta evolución y muy difíciles de identificar. Por esto, es de suma importancia vigilar los déficits de precipitación en periodos tan cortos como para poder anticipar sus primeros efectos antes que, se cumplan las condiciones necesarias para declararse un evento de sequía. El impacto que una sequía puede ocasionar en la población va a depender de la disponibilidad de agua que esta tenga para mitigar su falta en sus actividades diarias.

En 2011, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) con base en las recomendaciones de la “Declaración de Lincoln sobre los índices de sequía” (Hayes et al., 2011), aprobó una resolución en la que:

“Pide a los Miembros que velen por que todos los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales del mundo utilicen el índice normalizado de precipitación para describir las características de las sequías meteorológicas, además de otros índices de sequía que ya se utilizan en sus Servicios” (OMM - N°1077, 2011, p.252).

Por lo tanto, esta resolución reconoce al Índice Normalizado de Precipitación (SPI por sus siglas en inglés) como índice de sequía oficial de la OMM y además considera que índices normalizados como éste son necesarios dentro de sistemas de alerta temprana efectivos.

Ante la ausencia en el IMN de una herramienta operativa para identificar el fenómeno de la sequía en Costa Rica, y siguiendo el acuerdo tomado por la OMM, Naranjo y Stolz (2013) aplicaron este índice para las estaciones meteorológicas en Liberia y Limón a diferentes escalas de tiempo, como una primera aproximación de esta herramienta en el uso operativo de la institución. Dentro de sus recomendaciones, sugieren ampliar el estudio a todas las regiones del país y desarrollar un análisis del comportamiento lluvioso a nivel nacional en función del SPI.

Considerando lo anterior, esta investigación pretende utilizar el SPI a escalas de tiempo de seis, doce y veinticuatro meses para estudiar los déficits de lluvias que se han presentado durante el periodo de 1981 a 2010, e identificar de la presencia, intensidad y magnitud de las sequías ocurridas en este periodo en Costa Rica. Además, pretende definir los valores del índice adecuados para su uso en el país. Con el empleo de este índice, se pueden anticipar las primeras etapas del fenómeno y aplicar los pasos previos del sistema de alerta temprana de sequía para los tomadores de decisiones, solucionando los problemas mencionados anteriormente.

Objetivo General

Aplicar el Índice Normalizado de Precipitación (SPI) a diferentes series de precipitación del periodo de 1981 a 2010 a nivel nacional, para caracterizar los escenarios de déficits y superávits que se han presentado, y así identificar los eventos de sequías.

Objetivos específicos

- Aplicar la definición propuesta por el Instituto Meteorológico Nacional para la identificación y categorización de los periodos de sequía; así como su duración, intensidad y extensión durante el periodo 1981-2010.
- Aplicar el Índice Normalizado de Precipitación para la identificación y categorización de los periodos de sequía; así como su duración, intensidad y extensión durante el periodo 1981-2010.
- Comparar el umbral definido por el Instituto Meteorológico Nacional con el umbral teórico del Índice Normalizado de Precipitación para definir la presencia de sequía.
- Identificar las circulaciones atmosféricas que causaron déficit y superávit de precipitaciones durante el periodo de estudio, como son la presión atmosférica en superficie, el viento medio en el nivel de 925mbar, la Radiación de Onda Larga (OLR), y la temperatura superficial del mar tanto en la región del Mar Intra-americano (IAS) como en el Pacífico Tropical del Este (ETP).
- Relacionar los periodos secos y lluviosos con fuentes de variabilidad climática como El Niño- Oscilación del Sur (ENOS), la Oscilación Decenal del Pacífico y la Oscilación Multidecenal del Atlántico, e identificar las posibles causas que ocasionaran sequía en todo Costa Rica.
- Elaborar un protocolo para la emisión de alertas preventivas que formarán parte de los insumos del sistema de alerta temprana que se pretende implementar en el Instituto Meteorológico Nacional.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Definición histórica del fenómeno sequía

La definición de sequía es uno de los conceptos más discutidos a lo largo de los años. Muchas han sido las propuestas para definir este fenómeno, ya que todas las definiciones parten de las necesidades hídricas que tienen los usuarios del agua en diferentes sectores dentro del campo agrícola, hidrológico y hasta ámbito social, entre otros.

Una de las definiciones de sequía más conocidas la planteó Palmer (1965) en su artículo “Sequía Meteorológica”; al definirla como “una deficiencia de humedad prolongada y anormal” (p.2). En este artículo explica que un periodo de sequía puede ocurrir en el orden de meses o años, donde el suministro de humedad en una región no alcanza en forma constante lo climatológicamente esperado.

La OMM en 1966, en la primera edición del documento Vocabulario Meteorológico Internacional, propuso dos definiciones para la sequía: “1) ausencia prolongada o deficiencia marcada de la precipitación”; “2) periodo anormal de tiempo seco, suficientemente prolongado, en el que la falta de precipitación causa un grave desequilibrio hidrológico” (OMM-No. 182, 1992, p.199).

Wilhite y Glantz (1985), hicieron una revisión de más de 150 definiciones de sequía, encontrando que estas definiciones pueden agruparse en dos grupos: el conceptual, definido con base en los impactos de la sequía en la sociedad; y el operacional que está enfocado en determinar las características físicas de la sequía e intentando identificar umbrales, intensidad y duración del fenómeno; incluyendo sus potenciales impactos. Utilizando las definiciones operacionales de sequía, determinaron cuatro tipos de sequías (todas reconocidas por la OMM en diferentes documentos) y los impactos que cada uno de estos tipos ocasionan dependiendo de la escala temporal en que desarrollan. La Figura 1 muestra el diagrama que resume los diferentes tipos de sequía:

- Meteorológica:

La sequía meteorológica se define como “ausencia prolongada o escasez acusada de precipitación” (OMM-No. 385, 2012, p 98). Está relacionada únicamente en función del grado de sequedad y la duración del período seco. Esta definición varía mucho ya que depende del lugar donde ocurra el evento.

- Agrícola:

La sequía agrícola se “presenta cuando la cantidad de precipitación y su distribución, las reservas en agua del suelo y las pérdidas debidas a la evaporación se combinan para causar disminuciones considerables del rendimiento de los cultivos y del ganado” (OMM-No. 391, 1990, p 61). En esta definición se relacionan características de las sequías meteorológicas con los efectos agrícolas, centrándose, por ejemplo, en la escasez de precipitaciones; desviaciones de factores meteorológicos como la evapotranspiración.

- Hidrológica:

La sequía hidrológica se define como un “período de tiempo anormalmente seco, lo suficientemente prolongado para ocasionar una escasez de agua, que se refleja en una disminución apreciable en el caudal de los ríos y en el nivel de los lagos o en el agotamiento de la humedad del suelo y el descenso de los niveles de aguas subterráneas por debajo de sus valores normales” (OMM-No. 385, 2012, p 169). La sequía hidrológica se asocia con los efectos de los períodos de precipitación (incluida la nevada), los déficits en el suministro de agua superficial o subterránea (es decir, el caudal, los niveles de los embalses, los lagos y las aguas subterráneas).

- Socioeconómicas:

Se les llama sequías socioeconómicas a los efectos de un periodo prolongado de sequía en la sociedad. Este tipo de sequía “refleja la relación entre la oferta y la demanda de mercancías básicas, como lo son el agua, alimento para el ganado o

la energía hidroeléctrica, que dependen de las precipitaciones. La oferta varía anualmente en función de la precipitación o de la disponibilidad de agua” (OMM-No. 1006, 2006, p 11).

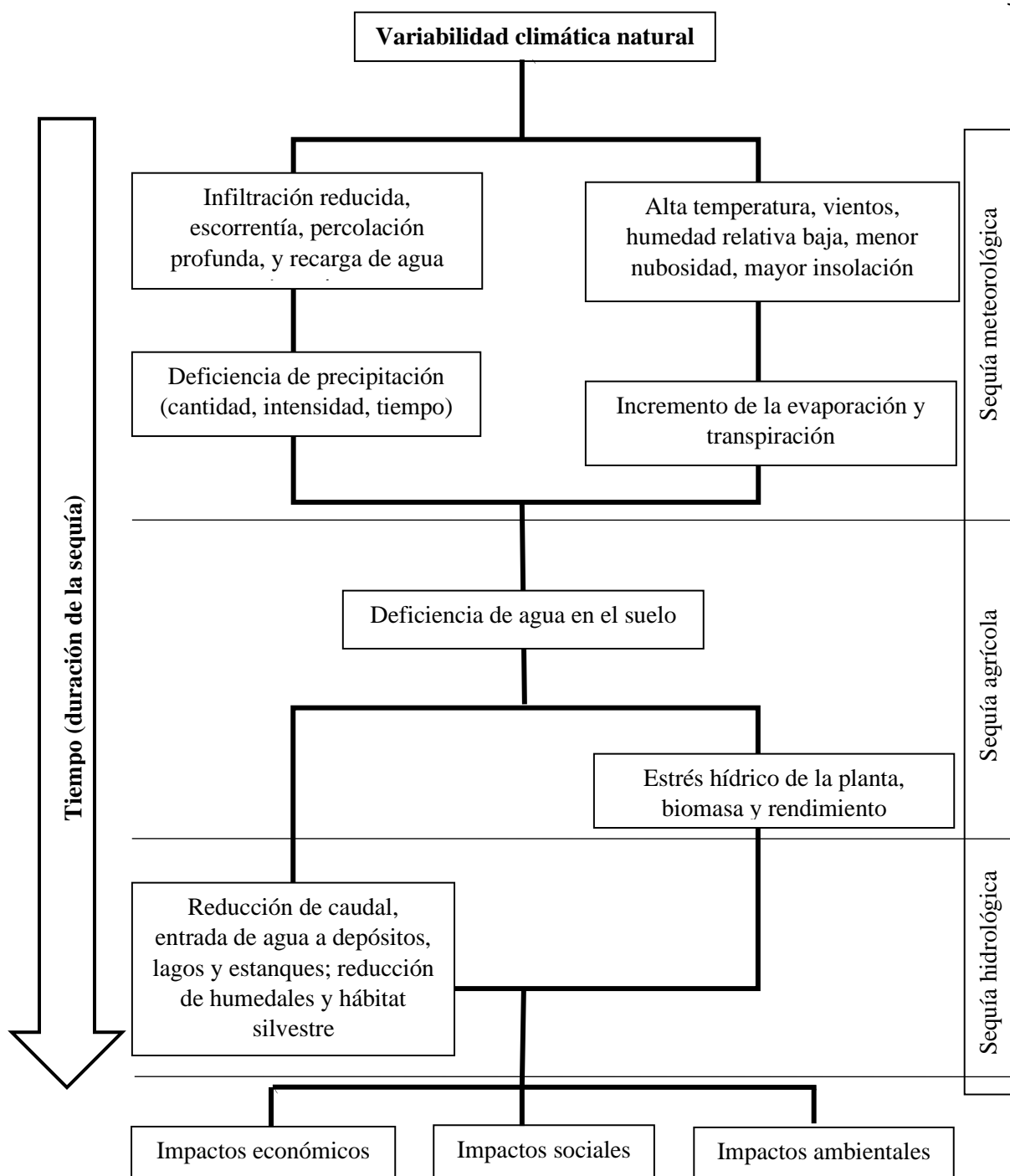


Figura 1. Relación entre los diferentes tipos de sequía y la duración de los eventos secos. Fuente: Wilhite and Glantz (1983)

Por su parte, McKee, Doesken y Kleist (1993) mencionan que las definiciones de sequía coinciden en que es una condición de humedad insuficiente causada por un déficit de precipitación en un periodo de tiempo. Además, explican que para cualquier análisis de sequía se debe tener cinco aspectos importantes en cuenta: 1) la escala de tiempo, 2) la probabilidad de ocurrencia, 3) el déficit de la precipitación, 4) la aplicación de la definición de sequía a la precipitación y al suministro de agua y, 5) la relación de la definición con el impacto de la sequía.

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), en su “Quinto Informe de Evaluación”, definió la sequía como un “período de condiciones anormalmente secas durante suficiente tiempo para causar un desequilibrio hidrológico grave” (p.1452). Además, amplió esta definición al incluir los impactos de la sequía en diferentes sectores:

“El término sequía es relativo; por tanto, ningún examen sobre déficit de precipitaciones debe referirse a la particular actividad conexas a las precipitaciones objeto de examen. Por ejemplo, la escasez de precipitaciones durante el período de crecimiento incide en la producción de los cultivos o la función de los ecosistemas en general (debido al déficit de humedad del suelo, también denominado sequía agrícola), y durante la estación de escorrentía y percolación afecta principalmente a los aportes hídricos (sequía hidrológica). La humedad y las aguas subterráneas almacenadas por el suelo también resultan afectadas por los aumentos en la evapotranspiración real y por las disminuciones en la precipitación. Todo período con déficit anormal de precipitación se define como sequía meteorológica. Las mega sequías son sequías prolongadas y extensas, que duran mucho más de lo normal, generalmente un decenio o más.” (IPCC, 2013, p.1452)

En Costa Rica el IMN (2008) en su publicación “El Clima, Variabilidad y el Cambio Climático” estableció que la sequía se define “cuando las precipitaciones anuales se encuentren por debajo de su primer quintil” (p.42). Además, explica que:

“La intensidad de la sequía está referida al déficit porcentual de lluvia de ese año con relación al promedio. La duración de la sequía está dada por el número de años secos consecutivos o no. La cobertura espacial se determina de acuerdo con la frecuencia de casos de sequía por años para un grupo de estaciones dado. (IMN, 2008, p.24).”

Finalmente, la OMM en el 2006 elaboró el “Manual de indicadores e índices de sequía”, en el cual se recopiló cerca de 41 indicadores e índices para la identificación y seguimiento de la sequía, siendo este documento es un reflejo no solo de la gran variedad herramientas para el estudio de este fenómeno, sino también de la amplia variedad conceptual que se tiene de la sequía, ya que cada una de estas herramientas fue desarrollada para una aplicación específica de los usuarios dependientes del agua.

2.2 El Índice Normalizado de Precipitación (SPI)

El Índice Normalizado de Precipitación (SPI por sus siglas en inglés) fue presentado a la comunidad científica por escrito por McKee et al. (1993) en su artículo “La relación entre la frecuencia de sequía y la duración con las escalas de tiempo”, como una herramienta de seguimiento de las sequías en el estado de Colorado en Estados Unidos; con el propósito de crear “un indicador y una definición de sequía que podría servir como una herramienta versátil para su seguimiento y análisis de la sequía” (McKee, 1993, p.1); para así, relacionar la frecuencia de las sequías con diferentes escalas de tiempo. En 1997, Edwards y McKee aplicaron el SPI para estudiar las características espaciales de las sequías a diferentes escalas temporales en Estados Unidos durante el siglo XX.

El cálculo del SPI inicia ajustando “una función de densidad de probabilidad gamma a una distribución de frecuencia dada de precipitación total para una estación.” (Edwards, 1997, p.19). Una vez calculada la probabilidad acumulativa para un evento de precipitación en una escala de tiempo, se pasa a una distribución normal normalizada de una variable aleatoria Z con media de 0 y varianza de 1, utilizando una transformación de equiprobabilidad.

Por lo tanto, el índice normalizado de precipitación es el número de desviaciones estándar que se desvía la probabilidad acumulada de un evento de precipitación para una escala de tiempo determinada, de la media de la precipitación para esa misma escala de tiempo.

$$SPI = Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

donde,

X : probabilidad acumulada un evento de precipitación para una escala de tiempo determinada.

μ : media de la precipitación para una escala de tiempo determinada, presentado por el valor 0.

σ : desviación estándar asociada al conjunto de datos para una escala de tiempo determinado.

Al ser el SPI una distribución de probabilidad normal (Figura 2), las propiedades matemáticas de este tipo de distribución se aplican al índice; por lo tanto, la probabilidad de recurrencia que un valor de SPI ocurra ya está establecida.

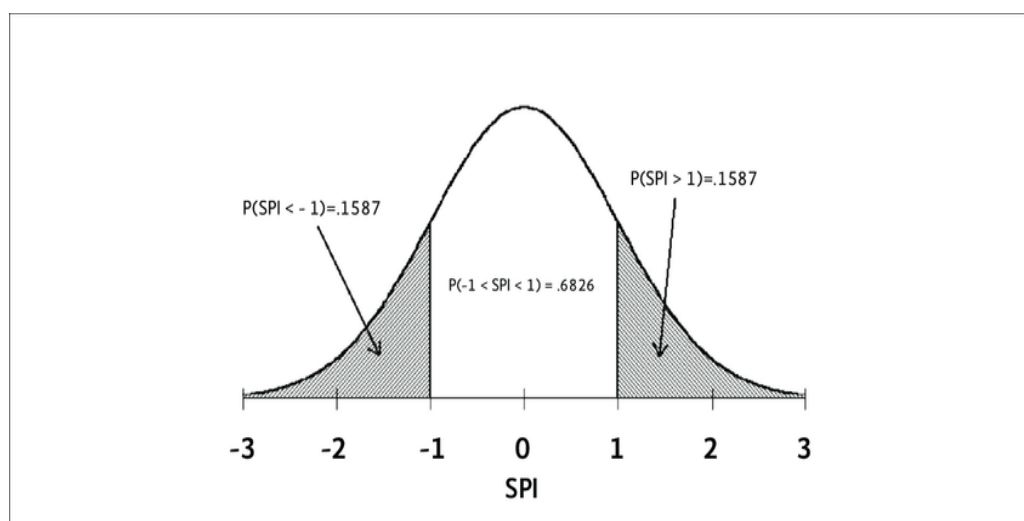


Figura 2. Distribución normal estándar relacionada con el índice normalizado de precipitación, teniendo un promedio de cero y una varianza de uno. Fuente: Edwards y McKee, 1997.

McKee et al. (1993) proponen una definición de sequía a partir de los valores del SPI. Establecen que “un evento de sequía para una escala de tiempo es definido como un periodo en el cual los valores del SPI son continuamente negativos y el SPI alcanza un valor de -1.0 o menos. La sequía comienza cuando el primer SPI cae por debajo de cero y termina el valor positivo de SPI siguiendo un valor de -1,0 o menos” (McKee et al., 1993, p.2).

La intensidad de la sequía está categorizada según los valores del SPI. La Tabla 1 muestra la relación entre los valores del SPI y la intensidad:

Tabla 1. Valores del Índice Normalizado de Precipitación

Valor SPI	Categoría
0 a -0,99	Sequía leve
-1,0 a -1,49	Sequía moderada
-1,5 a -1,99	Sequía severa
$\leq -2,0$	Sequía extrema

Fuente: La relación de la frecuencia de la sequía y la duración en escalas de tiempo (McKee et al., 1993)

Por último, la magnitud de la sequía se definió como la sumatoria de todos los valores del SPI durante el tiempo que ocurrió el evento. Esta magnitud tiene unidades de meses o años dependiendo de la escala del SPI que se está utilizando:

$$DM = -(\sum_{j=1}^x SPI_{ij}) \quad (2)$$

Dependiendo de cuánto se desvía negativamente la cantidad acumulada de lluvia para un periodo definido de su promedio climatológico, y qué tan persistente ha sido este déficit en el tiempo, se determina si el lugar donde se ubica la estación está siendo afectado por una sequía. Utilizando este método en varias estaciones de una región, se obtiene la extensión espacial de la sequía dentro de la región.

Al ser el SPI es un índice normalizado, se pueden representar tanto los eventos secos como los eventos lluviosos. La “Guía de Usuario del SPI” (OMM-No. 1090, 2012) destaca como una de sus principales ventajas, que solamente es necesario la precipitación para realizar el cálculo del índice; además de poder calcularse para distintas escalas temporales, ofreciendo la posibilidad de generar alertas tempranas para la sequía y ayudar a evaluar su severidad.

Por el contrario, este documento señala que debido a que el SPI solamente puede cuantificar el déficit de precipitación; los valores basados en datos preliminares pueden cambiar, y los valores varían cuanto más prolongado es el período de registro.

2.3 Características de la precipitación en Costa Rica

El IMN en conjunto con el Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH), con motivo de la elaboración de la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, publicaron el documento “El Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica” donde se describe la climatología y los fenómenos atmosféricos de relevancia para el país. Este documento se toma como línea base climática de referencia para la elaboración de estudios tanto de variabilidad climática como de cambio climático en el país.

El documento expone que la distribución de las precipitaciones en el territorio nacional se debe a “la orientación noroeste-sureste del sistema montañoso”, que “divide a Costa Rica en dos vertientes: Pacífica y Caribe” (IMN, 2008, p.8). Además, de la interacción de factores atmosféricos y oceánicos, junto con la orografía propia y la distribución de las precipitaciones en el país, dentro de estas vertientes se identifican siete regiones climáticas (Figura 3). Dentro de la Vertiente del Pacífico se encuentran: Región Central (también conocido como Valle Central), Pacífico Norte, Pacífico Central y Pacífico Sur; mientras que en la Vertiente del Caribe se encuentran: Zona Norte y Región Caribe, siendo esta última subdividida en Caribe Norte y Caribe Sur.



Figura 3. *Regiones climáticas de Costa Rica. Fuente: Instituto Meteorológico Nacional.*

La Vertiente del Pacífico se caracteriza por una época lluviosa bien definida entre los meses de mayo a octubre, y una estación seca entre diciembre y marzo; siendo los meses de abril y noviembre los meses de transición entre ambas estaciones. La distribución de lluvias a lo largo del año es bimodal, con valores máximos de lluvia entre junio y octubre, y una disminución de estas durante el mes de julio y agosto, conocido como “Sequía de Medio Verano” o “Mid-Summer Drought” (MSD en inglés; Magaña et al., 1999) y popularmente llamada como “canícula” o “veranillo”, en simultáneo con la intensificación de la Corriente en Chorro de Bajo Nivel del Caribe (CLLJ, por sus siglas en inglés) (Amador, 1998).

Por su parte, en la Vertiente del Caribe las precipitaciones son constantes a lo largo del año por lo que no tiene una estacionalidad claramente definida. Los periodos más lluviosos son entre los meses de noviembre y enero con un máximo de lluvias en diciembre, y el otro periodo ocurre entre mayo y agosto, siendo julio el mes más lluvioso de este periodo, y que coincide con la canícula en el Pacífico. En las zonas costeras se presenta una disminución de las precipitaciones en los meses de febrero y marzo, y otra disminución en los meses de setiembre y octubre.

2.4 Fenómenos moduladores de las precipitaciones en Costa Rica

Son varios los fenómenos atmosféricos que modulan el comportamiento de las lluvias en Costa Rica. Hidalgo et al. (2015) y Amador et al. (2016) describen los principales mecanismos a nivel centroamericano, a saber: la migración de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT; Quirós-Badilla e Hidalgo 2016 a; b), la Corriente de Chorro de Bajo Nivel del Caribe (CLLJ; Amador, 1998), El Niño-Oscilación del Sur (ENOS; IMN 2008; Hidalgo et al., 2017), y el Mid-Summer Drought (Magaña et al., 1999). También se añaden como factores moduladores de las precipitaciones en el país la temporada de huracanes tanto en el Atlántico, como en el Pacífico Tropical del Este, y la intrusión de empujes fríos al Mar Caribe (IMN, 2008).

A escala planetaria, existen oscilaciones de bajas frecuencias de escala planetaria que también tienen una influencia en las precipitaciones de Costa Rica (Hidalgo et al. 2019) como la Oscilación Multidecenal del Atlántico (AMO; Enfield et al. 2001) y Oscilación decenal del Pacífico (PDO; Mantua y Hare, 2012).

El ENOS es uno de los principales moduladores de la variabilidad climática en Costa Rica, y del cual se tiene numerosos estudios en el país. El IMN (2008) concluye que ante la presencia del fenómeno cálido del ENOS (El Niño), se experimentan escenarios deficitarios de lluvias en la Vertiente del Pacífico y la Región Central; mientras que en la Vertiente del Caribe ocurren escenarios más lluviosos. Por el contrario, cuando se presenta la fase fría del ENOS (La Niña), los escenarios lluviosos son más probables en la Vertiente del Pacífico, Región Central y Zona Norte; mientras que en las regiones Caribe el escenario seco es el más probable.

Ese tipo de escenarios lo explican Mora y Amador (2000) al relacionar las diferentes fases del ENOS con la intensidad del CLLJ y el impacto en las precipitaciones que tiene en el país. El CLLJ “es un máximo de viento de bajo nivel cerca de los 900 mbar en el Mar Caribe y que es parte de las intenso y continuo régimen de los Vientos Alisos en el Atlántico” (Amador, 1998, p.93). Ellos concluyen que, en una fase cálida aumenta la intensidad del CLLJ, lo cual está asociado con un aumento de lluvias en el oeste del Mar Caribe debido a una mayor interacción orográfica del chorro en parte del Caribe, al mismo tiempo que

ocasiona condiciones más estables en la Vertiente del Pacífico durante el verano boreal; lo contrario sucede en la fase fría, en donde el CLLJ disminuye de intensidad, y las precipitaciones aumentan en la Vertiente Pacífica, pero disminuyen en la Vertiente del Caribe.

Además de esto, oscilaciones atmosféricas a escala planetaria como la AMO y la PDO también tienen una influencia en las precipitaciones de Costa Rica (Hidalgo et al. 2019). Méndez y Magaña (2010) explican que:

“Las condiciones en el Pacífico Tropical del Este y el Atlántico Tropical juntos, sirven para explicar la dinámica de las circulaciones en la región de Mar Intra-americano (IAS) y los procesos que resultan en periodos secos y lluviosos sobre Estados Unidos, México, América Central y el Mar Caribe (p.1184)”.

Concluyen que predominan los escenarios secos en América Central cuando la AMO se encuentra en fase negativa y la PDO en fase positiva; por el contrario, predominan los escenarios lluviosos cuando la PDO se encuentra en fase negativa junto con una AMO fase positiva.

La relación de la AMO con las precipitaciones en América Central ya había sido estudiada por Alfaro (2007) y luego por Maldonado (2013), concordando que las fases positivas de la AMO están relacionadas con condiciones lluviosas y, por el contrario, las fases negativas de la AMO están relacionadas con condiciones secas. Por su parte, Mantua y Hare (2012) sugieren que fases cálidas de la PDO coinciden con periodos secos en América Central.

Capítulo 3

Metodología de estudio

Se utilizaron los datos de lluvia de las estaciones meteorológicas para realizar el cálculo del promedio anual de precipitación a nivel nacional, el promedio mensual en las regiones climáticas del país, y los promedios de las precipitaciones de las épocas lluviosas. Estos valores sirvieron como referencia para establecer si un año o una época lluviosa tuvo déficit o superávit con respecto al promedio climatológico de las series. Además, se calcularon los valores de los deciles de los acumulados anuales de precipitación, para la posterior aplicación de la definición de sequía propuesta por el IMN en cada uno de los años del periodo de estudio.

Se utilizó el Reanálisis del NCEP-NCAR (Kalnay et al., 1996), para identificar los patrones promedio de la atmósfera de los cinco años más lluviosos y menos lluviosos de la serie, así como de las cinco épocas lluviosas más secas y las cinco más lluviosas. Las variables atmosféricas analizadas fueron: presión atmosférica en superficie, radiación de onda larga (OLR por sus siglas en inglés), el viento medio en el nivel atmosférico de 925hPa y la temperatura superficial del mar. El área utilizada para el análisis de estas variables abarca la región de los Mares Intra-americanos (IAS, por sus siglas en inglés) que comprenden el Mar Caribe, Golfo de México y el Pacífico Tropical del Este (PTE).

Con el fin de obtener una magnitud de la desviación del acumulado de la precipitación con respecto al promedio climatológico, se calculó la *anomalía normalizada de la precipitación* (ANP) a las series de tiempo de los datos de las estaciones utilizando la siguiente ecuación:

$$ANP = z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (3)$$

donde,

z : anomalía normalizada de la precipitación.

x : valor acumulado de la precipitación para una escala de tiempo determinado.

\bar{x} : es el promedio de la precipitación para una escala de tiempo determinado.

σ : desviación estándar asociada al conjunto de datos para una escala de tiempo determinado.

La ANP toma la diferencia entre el valor de la precipitación y el promedio climatológico, para luego ser normalizada con la desviación estándar de la serie de datos. Al ser la ANP una función de distribución de probabilidad tipo gaussiana, se supone que las precipitaciones tienen el comportamiento de una distribución normal, hecho que no ocurre en las realidad.

Se obtuvo los valores ANP de cada uno de los deciles de la serie de datos del periodo de estudio para definir los umbrales de cada una de las categorías en las que se dividen los deciles e identificar el valor que se ajusta mejor a la definición de sequía del IMN.

Se calculó el SPI para escalas de tiempo de seis (SPI-6), doce (SPI-12) y veinticuatro meses (SPI-24) en las todas las estaciones meteorológicas, utilizando el código escrito en el lenguaje de programación R por el Observatorio Latinoamericano de Eventos Extraordinarios (<http://www.cmc.org.ve>). Luego se obtuvieron los promedios nacionales y regionales por año del índice en cada una de las escalas de tiempo. El SPI-6 se utilizó para el estudio de escenarios secos y lluviosos a nivel regional durante los meses de época lluviosa en la vertiente del Pacífico (de mayo a octubre); el SPI-12 se utilizó para el análisis de escenarios secos y lluviosos a escala nacional y por vertientes durante los meses de enero a

diciembre. El SPI-24 se utilizó para la identificación de escenarios secos a largo plazo, abarcando dos años por valor del SPI.

Se comparó el ANP con el SPI-12 utilizando la correlación de Pearson para mostrar la habilidad de SPI de identificar los eventos de sequía y los periodos secos dentro del periodo de estudio. Se utilizó el SPI-12 para que coincida con la escala anual que tiene el ANP.

Utilizando los valores de SPI de escala de seis y doce meses, se clasificaron las estaciones meteorológicas en tres escenarios: **seco**, donde se encuentran las estaciones con valores del SPI igual o inferior a -0,5; **normal**, donde se encuentran las estaciones con valores del SPI entre $\pm 0,5$; y **lluvioso**, donde se encuentran las estaciones con valores del SPI igual o superior a +0,5; esto con el fin de cuantificar los años con el mayor número de estaciones meteorológicas que dentro de alguno de los tres escenarios.

Se clasificó cada uno de los años del periodo de estudio utilizando la definición de sequía del IMN (utilizando su adaptación al ANP) y el SPI. En todos los casos, se consideraron como escenarios secos los valores negativos y como escenarios lluviosos los valores positivos, considerándose el escenario de sequía cuando alcanzaron el umbral establecido. Para las épocas lluviosas solamente se utilizó el ANP y el SPI, ya que el criterio del IMN para la declaración de sequías es anual.

Para este estudio, se consideran las siguientes definiciones:

Evento de sequía o sequía: cuando en un periodo deficitario de precipitaciones los valores negativos de los índices sobrepasan el umbral establecido. En el caso de la definición que aplica el IMN son los acumulados anuales de precipitación por debajo del primer quintil (o su equivalente con el ANP), mientras que en caso del SPI se debe alcanzar o superar el valor de -1,0.

Periodo de sequía o periodo seco: es un periodo de un mes o más consecutivos con valores negativos del ANP o el SPI, pero que no alcancen el umbral de sequía definido. Esta definición es acorde con la definición de periodo de sequía propuesto en el Vocabulario de Meteorología Internacional, el cual explica que un periodo de sequía es “lapso con tiempo anormalmente seco. El uso de este término debe estar limitado al caso de condiciones menos

rigurosas que las de sequía” (OMM-N°182, 1990, p.201); ya que toma en cuenta a los meses o años en donde los déficits de las precipitaciones no son tan fuertes pero que, durante un periodo de tiempo determinado, los impactos de estos déficits podrían ser similares a los efectos de una sequía.

La **duración** de un evento de sequía o periodo de sequía es la cantidad de meses o años consecutivos donde los valores de los índices son negativos, iniciando con el primer valor negativo y terminando valor negativo anterior a valor positivo.

Para la clasificación de la **intensidad** de los eventos con el ANP, se utilizó la clasificación utilizada por la Oficina de Meteorología de Australia (Gibbs, W.J. y J.V. Maher, 1967: Rainfall Deciles as Drought Indicators. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, Melbourne, Australia.).

Tabla 2. *Clasificación de los deciles*

Deciles	Categoría
Deciles 1-2 (20% más bajo)	Muy bajo lo normal
Deciles 3-4 (siguiente 20% bajo)	Bajo lo normal
Deciles 5-6 (20% del medio)	Cerca de lo normal
Deciles 6-7 (siguiente 20% alto)	Sobre lo normal
Deciles 9-10 (20% más alto)	Muy sobre lo normal

Fuente: Gibbs y Maher 1967.

Mientras que, para la clasificación de la intensidad con el SPI, se utilizó la categorización propuesta por Naranjo y Stolz (2013) para el uso de este índice dentro del IMN, el cual es ligeramente diferente al original, con la diferencia que se consideró como rango normal a los valores dentro del rango $\pm 0,5$, a diferencia del valor teórico de $\pm 1,0$ propuesto por McKee et al. en 1993. La Tabla 3 muestra las diferencias entre las categorizaciones propuestas por McKee et al. y el propuesto por el IMN.

Tabla 3. *Valores del Índice Normalizado de Precipitación propuestos para Costa Rica*

Valor del SPI	Categoría del comportamiento del régimen de lluvias propuesto por McKee et al. (1993)	Categoría del comportamiento del régimen de lluvias propuesto por el IMN (2013)
$\geq 2,0$	Extremadamente húmedo	Extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	Muy lluvioso	Muy lluvioso
1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo	1,0 a 1,49 (Moderadamente lluvioso) 0,51 a 0,99 (Ligeramente lluvioso)
0,99 a -0,99	Normal o aproximadamente normal	-0,5 a 0,5 (Normal)
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco	-0,51 a -0,99 (Ligeramente seco) -1,0 a -1,49 (Moderadamente seco)
-1,5 a -1,99	Severamente seco	Severamente seco
$\leq -2,0$	Extremadamente seco	Extremadamente seco

Fuente: El Índice Normalizado de Precipitación y sus aplicaciones en Costa Rica

Fuente: Tópicos Meteorológico y Oceanográficos, 2013.

El cálculo de la **magnitud** de las sequías, para el caso de la definición del IMN se utilizó el método utilizado la institución; mientras que, el caso de la magnitud del SPI es el mismo método propuesto por McKee et al. (1993) en el marco teórico de esta investigación.

Para el estudio de la relación de los escenarios secos y lluviosos con respecto a las oscilaciones atmosféricas, se comparó la intensidad del SPI-6 en cada una las épocas lluviosas con las fases del ENOS que ocurrieron durante el periodo de estudio, utilizando el Índice Oceánico del Niño (ONI por sus siglas en inglés) como métrica del ENOS para identificar las fases (cálidas o frías) del fenómeno. Mientras que, se utilizó el SPI-24 para describir la relación de los eventos secos y lluviosos a largo plazo junto con los valores de la PDO y la AMO.

Finalmente, se elaboró un protocolo de uso del SPI para el IMN con el fin de dar un seguimiento eficaz al comportamiento de las precipitaciones y así dotar a los tomadores de decisiones una herramienta más para la declaración de sequía en una zona particular del país, además de medir la intensidad de esta. Esto facilitará la decisión de activar el sistema de alerta temprana de una forma preventiva y con base en un análisis objetivo.

Datos

Se utilizan las series de datos mensuales de 36 estaciones meteorológicas mecánicas distribuidas en todo el país, las cuales pertenecen al IMN. Todas las estaciones tienen un registro de 30 años, con un valor máximo de 12% de datos faltantes. La Tabla 4 muestra la nómina de estaciones utilizadas en este estudio y la Figura 4 su respectiva ubicación geográfica. El periodo de análisis es 1981 a 2010, siendo este periodo de referencia actual utilizado por la OMM para los estudios de variables meteorológicas.

Para el estudio de la relación entre el SPI y las oscilaciones multidecenales, se utilizaron las series de tiempo de una estación por cada región climática, siendo seleccionadas por contener datos desde 1950 hasta el 2010, las estaciones de: Argentina de Grecia en el Valle Central, Pocares en el Pacífico Central, Coto 47 en el Pacífico Sur, el CATIE y Limón ambos en el Caribe. En el Pacífico Norte se utilizó la estación de Llano Grande de Liberia y en la Zona Norte la estación de Quebrada Azul, pero con series de datos desde 1960 hasta 2010.

Tabla 4. *Nómina de estaciones meteorológicas*

Número de estación	Nombre de estación	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Porcentaje datos faltantes
69512	ZARCERO (A.E.A.)	10°11	84°23	1736	1,9%
69515	QUEBRADA AZUL	10°24	84°28	83	0,0%
69548	JILGUERO	10° 27	84°43	625	0,0%
69556	SAN VICENTE CIUDAD QUESADA	10°17	84°22	1450	1,1%
72101	NICOYA EXTENSION AGRICOLA	10°8	85°27	120	4,7%
72106	SANTA ROSA (PARQ. NAL.)	10°50	85°37	315	7,8%
72111	PAQUERA	9°49	84°56	15	9,7%
73010	CATIE TURRIALBA	9°53	83°39	602	0,6%
73018	LINDA VISTA EL GUARCO	9°50	83°58	1400	1,4%
73024	PARAISO LOS NARANJOS	9°49	83°52	1380	4,2%
73035	NAVARRO CARTAGO	9°48	83°52	1100	2,8%
73091	HACIENDA EL CARMEN	10°12	83°28	15	0,0%
74020	LLANO GRANDE LIBERIA	10°35	85°32	80	0,0%
77002	LA LOLA	10°5	83°23	40	0,6%
78005	SARMIENTO DE PUNTARENAS	10°9	84°53	160	6,7%
81003	LIMON	9°57	83°1	5	0,0%
82001	GUADALUPE DE ESPARZA	10°0	84°34	400	1,4%
84003	LA ARGENTINA GRECIA	10°1	84°21	760	0,8%
84004	SABANA LARGA ATENAS	9°58	84°24	696	0,0%
84006	HDA CONCEPCION TRES RIOS	9°55	84°0	1320	3,9%
84019	HDA LA LAGUNA CURRIDABAT	9°55	84°0	1240	2,2%
84030	LA LAGUNA DE FRAIJANES	10°8	84°11	1850	0,3%
84059	LA LUISA SARCHI	10°7	84°20	1250	2,8%
84091	E. C. DE GANADERIA	9°55	84°22	450	3,6%
84092	TEGUCIGALPA ITIQUIS	10°3	84°12	1080	8,9%
85006	PUERTO VARGAS LIMON	9°43	82°48	3	12,2%
88004	FINCA PALO SECO	9°32	84°17	15	0,3%
88008	FINCA NICOYA	9°33	84°18	30	0,3%
90001	POCARES	9°31	84°14	6	0,3%
90008	ANITA	9°27	84°9	15	0,3%
92001	CAPITAL-BARTOLO	9°25	84°6	10	0,8%
92002	LLORONA	9°24	84°4	10	0,3%
94002	MARITIMA	9°23	84°2	8	0,3%
98009	REPUNTA	9°17	83°39	580	0,8%
98022	LA PIÑERA	9°8	83°19	350	5,0%
100035	COTO 47	8°35	82°58	8	11,4%



Figura 4. *Distribución espacial de las estaciones meteorológicas mecánicas utilizadas para el estudio.*

Capítulo 4

Análisis de resultados

4.1 Identificación de los años secos y lluviosos

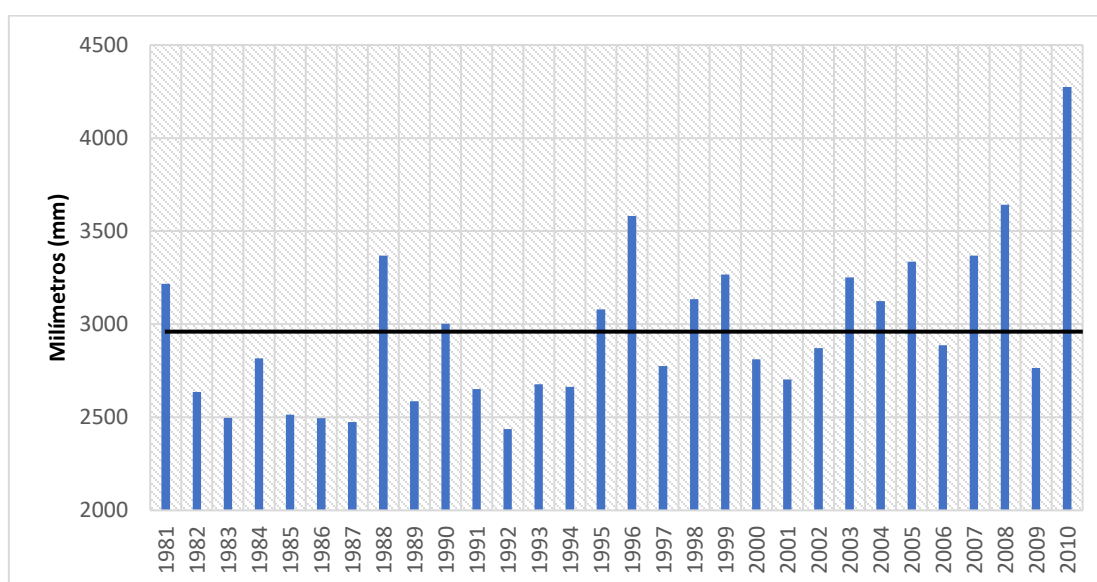
El promedio anual de las precipitaciones calculado con los datos de las estaciones para Costa Rica es de 2963,7 mm (Tabla A.1). Tomando como referencia este valor, durante el periodo de estudio se encontraron 17 años por debajo del promedio, siendo 1992 el año de menor valor promedio de las estaciones con 2437,5 mm; por el contrario, se registraron 13 años sobre el promedio, siendo 2010 el año con mayor valor con 4273,8 mm. La Figura 5 muestra la distribución de los acumulados anuales durante el periodo de estudio.

El mismo análisis se hizo por vertientes, obteniéndose en la Vertiente del Pacífico un promedio anual de 2756,2 mm (Tabla A.2), siendo 1987 el año con menor acumulado de lluvias del periodo con 2205,6 mm y 2010 el año con mayor acumulado de lluvias con 4287,4 mm. Por su parte, en la Vertiente del Caribe se obtuvo un promedio anual de 3588,2 mm, siendo 1985 el año con menor el acumulado de lluvias con 2590,1 mm y el año 2002 el de mayor acumulado con 4491,1 mm. La Figura 6 muestra la distribución de los acumulados anuales en cada una de las vertientes.

A nivel regional, se obtuvo que la región climática con mayor acumulado de lluvias es el Pacífico Sur con 3883,6 mm por año; por el contrario, la región del Pacífico Norte con menor acumulado de lluvias con 2284,5 mm. La tabla 5 resume los acumulados anuales de cada una de las regiones climática de Costa Rica.

Tabla 5. Promedio anual de las precipitaciones en las regiones climáticas del país

Región climática	Acumulado anual (mm)
Pacífico Norte	2284,5
Pacífico Central	3750,6
Pacífico Sur	3883,6
Valle Central	2328,4
Zona Norte	3795,2
Caribe	3473,9

**Figura 5.** Promedio del acumulado anual de las precipitaciones en todas las estaciones durante el periodo de 1981-2010. Línea sólida representa el promedio anual de 2963,7 mm.

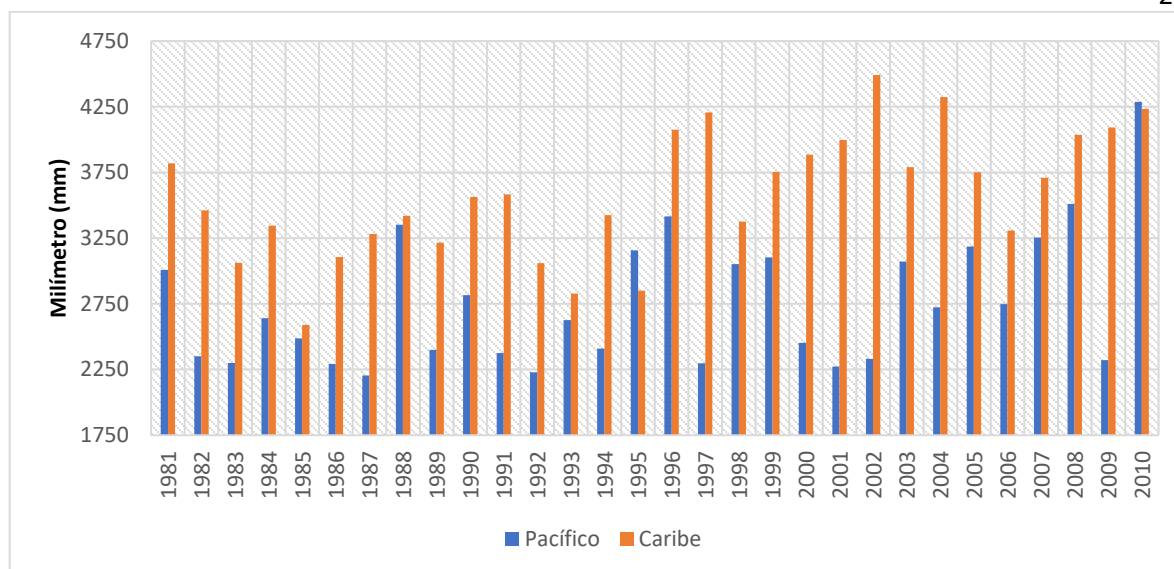


Figura 6. Promedio del acumulado anual de las precipitaciones en todas las estaciones por vertiente durante el periodo de 1981-2010.

Clasificando los años con los valores acumulados de menor a mayor se obtiene que los años 1992, 1987, 1986, 1983 y 1985 fueron los menos lluviosos (Tabla 6) y, los años 2010, 2008, 1996, 1988 y 2007 fueron los más lluviosos. Cabe mencionar que, en cuatro de los cinco años menos lluviosos (1983, 1986, 1987 y 1992) el fenómeno de El Niño estuvo presente, dado que en el año de 1985 estuvo presente el fenómeno de La Niña. Mientras que, para los años más lluviosos, en todos estuvo presente el fenómeno de la Niña.

Tabla 6. Años más lluviosos y secos del periodo 1981-2010

Lluviosos		Secos	
Año	Acumulado (mm)	Año	Acumulado (mm)
2010	4273,8	1992	2437,5
2008	3642,4	1987	2474,7
1996	3580,9	1986	2495,8
1988	3368,9	1983	2496,4
2007	3368,5	1985	2513,6

4.1.1 Patrones atmosféricos y oceánicos predominantes en los años secos y lluviosos

El patrón atmosférico promedio de los cinco años menos lluviosos, según el reanálisis NCEP-NCAR, muestra vientos alisios más intensos en el área del Mar Caribe y el Pacífico Tropical del Este (Figura 7). Además de un aumento de la presión atmosférica en el Atlántico Tropical y una disminución de la presión atmosférica a nivel de la superficie en el Océano Pacífico (Figura 8), lo cual estaría asociado con el aumento en la intensidad de los vientos alisios, resultado acorde con Wang (2007). También, se observaron anomalías positivas de OLR frente a la costa de América Central (Figura 9) lo cual está asociado a una mayor radiación saliente desde la Tierra debido a la ausencia de nubosidad sobre esa zona.

Por su parte, la temperatura de las aguas superficiales del mar (Figura 10) se destaca un dipolo térmico entre las aguas del Océano Pacífico y el Océano Atlántico, con calentamiento en el Pacífico un enfriamiento de las aguas en el Océano Atlántico y el Mar Caribe; además de un calentamiento en las aguas superficiales del Océano Pacífico Tropical; este patrón de temperaturas es característico de la presencia el fenómeno de El Niño. Este resultado es acorde con los encontrados por Alfaro (2007) y Maldonado, Alfaro, Fallas-López y Alvarado (2013).

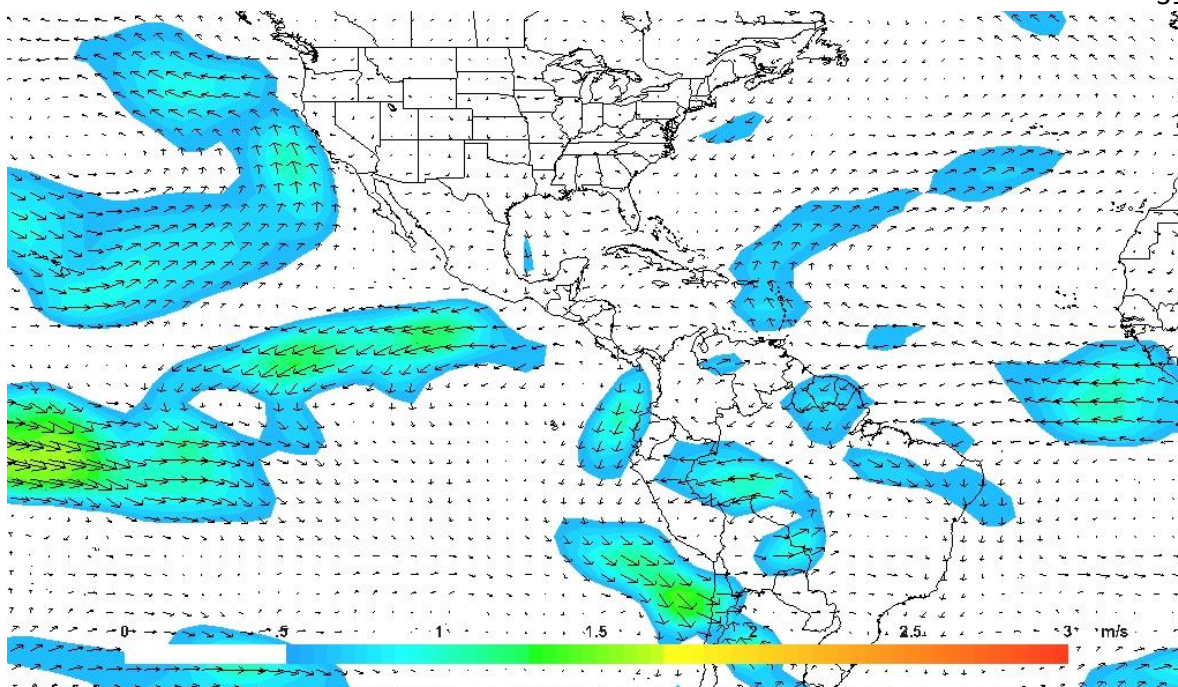


Figura 7. Anomalía promedio del viento en el nivel atmosférico de 925 hPa en los años con menores acumulados - 1983,1985,1986,1987,1992 -. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

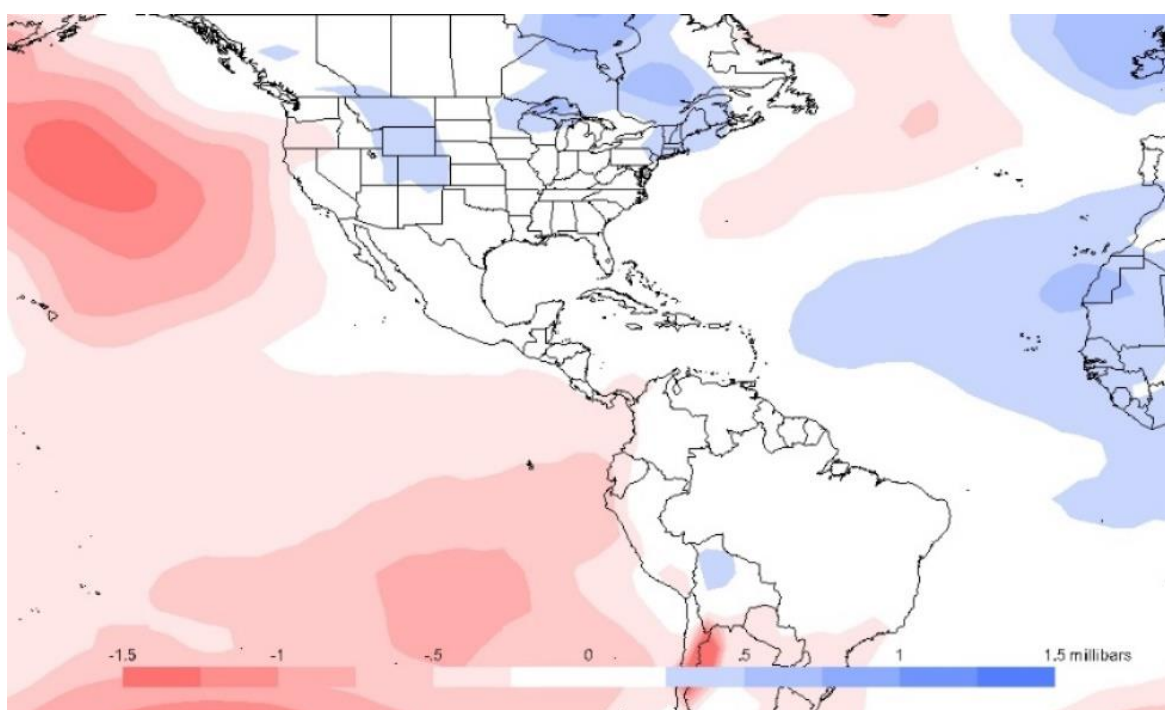


Figura 8. Anomalía promedio de la presión atmosférica al nivel del mar, en los años con menores acumulados - 1983,1985,1986,1987,1992 -. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

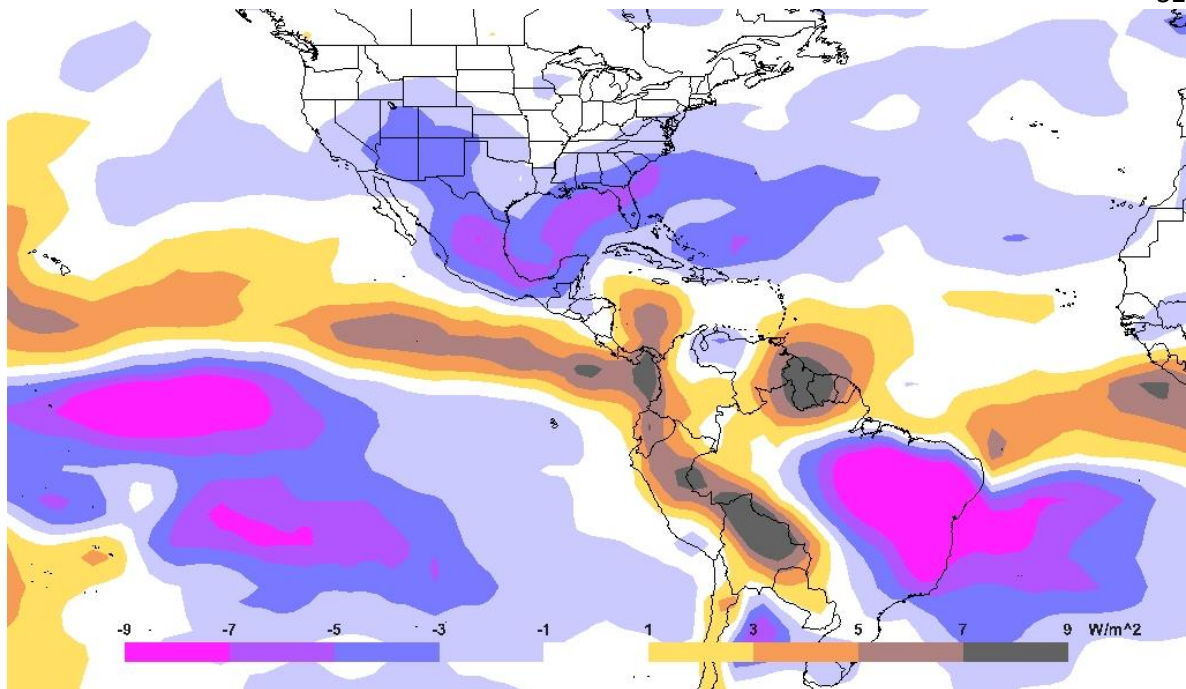


Figura 9. Anomalía promedio de radiación saliente de onda larga en los años con menores acumulados - 1983,1985,1986,1987,1992 -. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

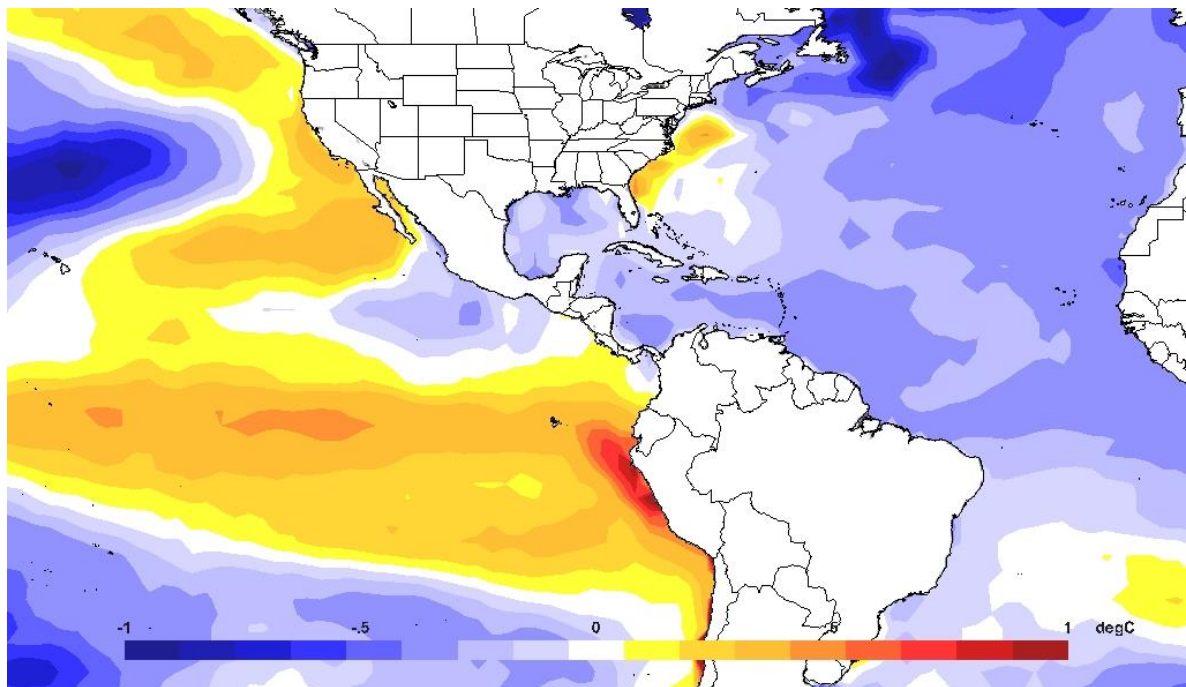


Figura 10. Anomalía promedio de la temperatura superficial del mar, en los años con menores acumulados - 1983,1985,1986,1987,1992 -. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

Por el contrario (como se mencionó anteriormente), el fenómeno de La Niña fue la característica de los cinco años más lluviosos, y esto se ve reflejado en el patrón atmosférico promedio. La anomalía en el campo de viento muestra una predominancia de vientos oeste desde el Pacífico Tropical del Este hacia el Mar Caribe (Figura 11), lo cual estaría acorde con la disminución en la intensidad de los vientos en el Mar Caribe producto de la disminución de la presión atmosférica en esta cuenca y el Océano Atlántico (Figura 12), resultado similar al de Wang (2007). Los valores de la anomalía de OLR menores cerca de la costa de América Central, lo cual implica una mayor nubosidad en esta zona (Figura 13).

La temperatura superficial del mar (Figura 14) muestra un dipolo térmico entre el Océano Pacífico y Océano Atlántico-Mar Caribe, con un fuerte enfriamiento de las aguas del Pacífico cerca de la línea ecuatorial de hasta $1,0^{\circ}\text{C}$ por debajo del promedio climatológico; mientras que, en el Atlántico y Mar Caribe, las temperaturas de las aguas estuvieron con valores entre $0,1^{\circ}\text{C}$ y $0,3^{\circ}\text{C}$ por encima del promedio. Este patrón es de las temperaturas característico de la presencia del fenómeno de La Niña.

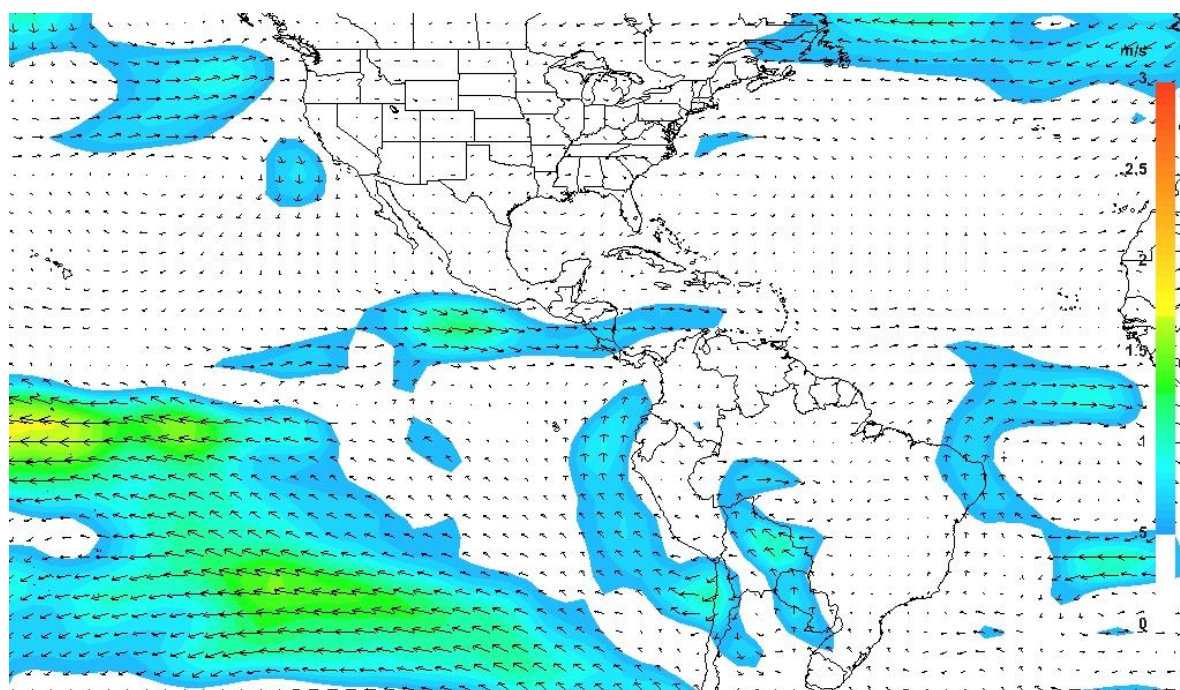


Figura 11. Anomalía promedio de: a) el viento en el nivel atmosférico de 925 hPa en los años con mayores acumulados -1988-1996-2007-2008-2010-. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

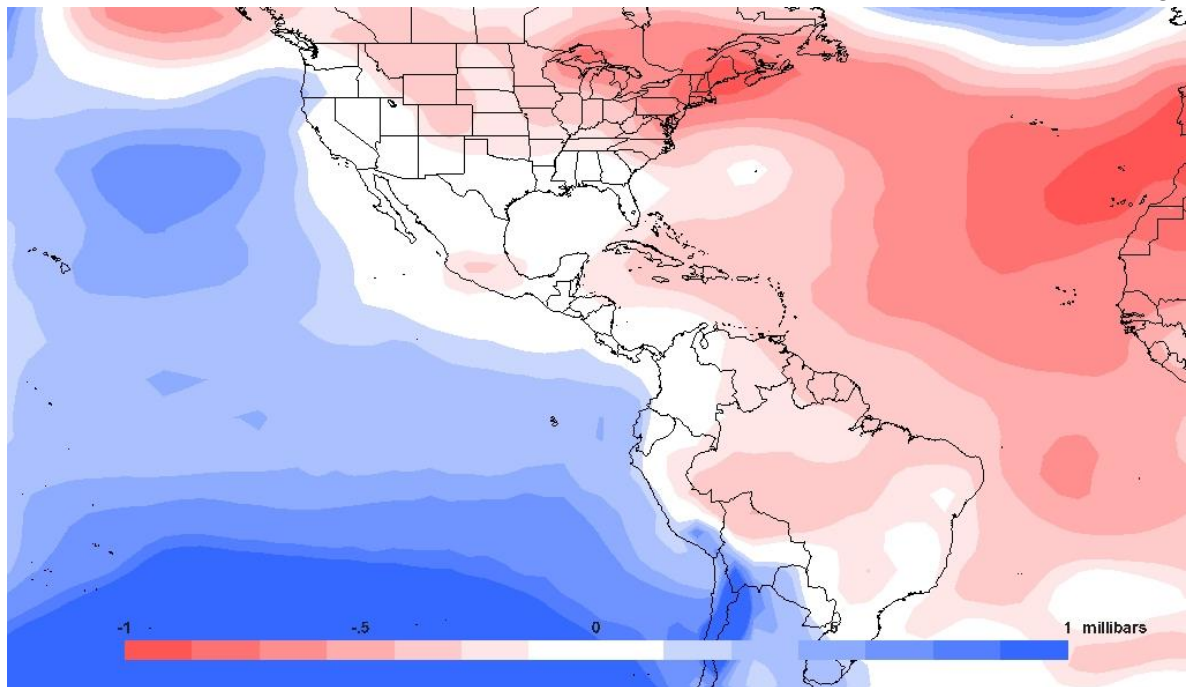


Figura 12. Anomalía promedio de la presión atmosférica al nivel del mar en los años con mayores acumulados -1988-1996-2007-2008-2010-. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

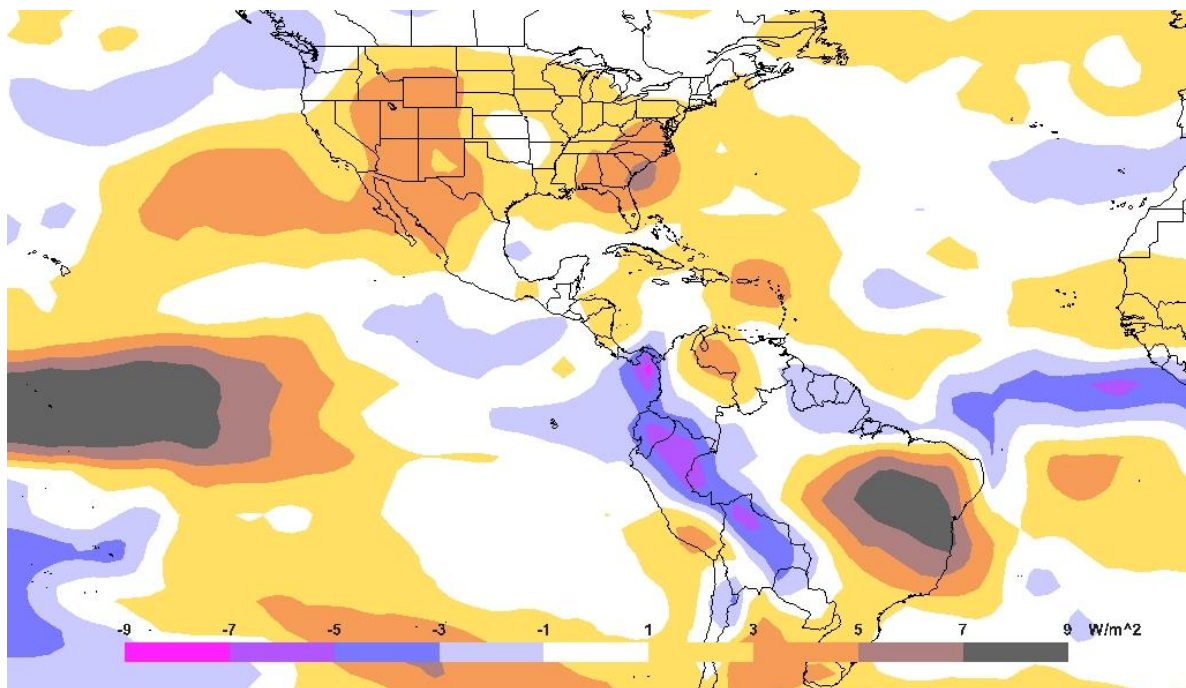


Figura 13. Anomalía promedio de radiación de onda larga en los años con mayores acumulados -1988,1996,2007,2008,2010 -. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

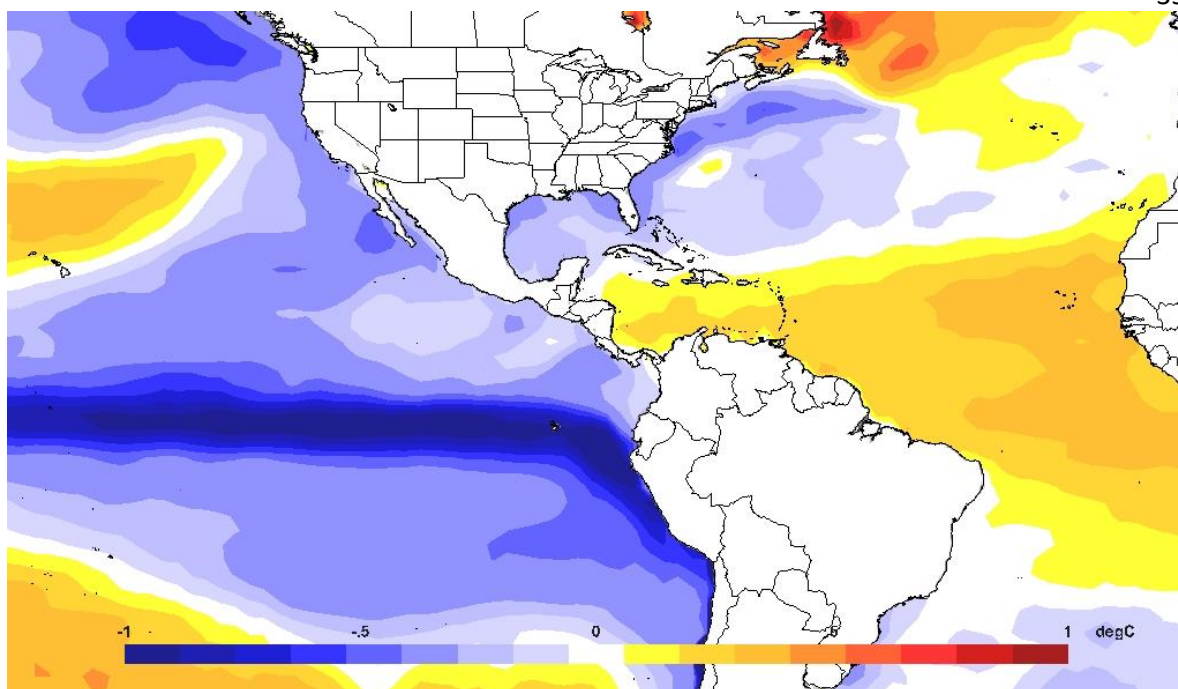


Figura 14. Anomalía promedio de la temperatura superficial del mar, en los años con mayores acumulados -1988,1996,2007,2008,2010 -. Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

4.2 Comparación de las definiciones de sequía del IMN y el SPI

4.2.1 Aplicación de la definición de sequía del IMN

Cuando se aplicó la **definición de sequía** del IMN - acumulado anual de lluvias menores al primer quintil correspondiente a 2626,2mm (Tabla A.5)-, se identificaron tres eventos de sequía en 30 años a nivel nacional, a saber: 1982-1987, 1989 y 1991-1994.

De acuerdo la definición de **intensidad de la sequía** del IMN (la suma del porcentaje deficitario con respecto al promedio anual), la sequía de 1982-1987 fue la más intensa del periodo de estudio con déficit porcentual con respecto al promedio climatológico de -79,3 %, seguido por la sequía de 1991-1994 con -48,1 % y por último 1989 con una intensidad de -12,7 %.

En lo que respecta a la **duración de la sequía** (número consecutivo de años secos), la sequía de 1982-1987 fue la más larga con seis años de duración, seguido de la sequía de 1991-1994 con cuatro años y 1989 con solamente un año. La Tabla 7 resume los resultados obtenidos.

Tabla 7. *Periodos con sequía utilizando el criterio del IMN en el periodo 1981-2010*

Periodo	Duración (años)	Intensidad (%)
1982-1987	6	-79,3
1989	1	-12,7
1991-1994	4	-48,1

Además, se identificó como **periodos de sequía** (años que hubo déficit de lluvia, pero no alcanzaron el umbral de sequía) el año de 1997 con una intensidad de -6,4%, el periodo de 2000-2002 con una intensidad de -17% en una duración de 3 años, el año de 2006 con intensidad de -2,6% y finalmente el 2009 con una intensidad de -6,7%. La tabla 8 resume los periodos de sequía encontrados dentro del estudio.

Tabla 8. *Periodos secos utilizando el criterio del IMN en el periodo 1981-2010*

Periodo	Duración (años)	Intensidad (%)
1997	1	-6,4
2000-2002	3	-17,0
2006	1	-2,6
2009	1	-6,7

4.2.2 Cálculo de la Anomalía Normalizada a las series de precipitación

La Tabla 9 muestra las categorías de clasificación de los deciles de la serie de datos y el resultado del cálculo de la *anomalía normalizada de precipitación* (ANP). La primera categoría llamada “*muy bajo lo normal*” abarca el primer y segundo decil; este último representa un valor acumulado anual de 2626,2 mm y tiene un valor de ANP de -0,8. Este valor de ANP es importante, ya que como se ha mencionado anteriormente, la definición de sequía del IMN toma el primer quintil (decil 20%) como el umbral para la definir una sequía. Por lo tanto, a partir de esto, se tomó el valor ANP de -0,8 como el umbral para catalogar un año con sequía, siendo esto acorde con la definición oficial para el país.

Continuando con las diferentes categorías, la categoría “*bajo lo normal*” (deciles 3 y 4) se encuentra entre los valores de ANP de -0,8 a -0,3. La categoría “*normal*” (deciles 5 y 6) está dentro del rango -0,3 y +0,2, en la categoría “*sobre lo normal*” (deciles 7 y 8) va de +0,2

a +1,0; y finalmente la categoría “*muy sobre lo normal*” (deciles 9 y 10) abarca los valores superiores a +1,0.

Tabla 9. Clasificación de la lluvia acumulada en deciles y su respectiva anomalía normalizada de la precipitación (1981-2010). Fuente: clasificación de BAMS usando datos propios.

Deciles			
Clasificación deciles	(%)	Acumulado (mm)	ANP
Muy bajo lo normal	10	2496,3	-1,1
	20	2626,2	-0,8
Bajo lo normal	30	2673,6	-0,7
	40	2771,0	-0,5
Normal	50	2844,3	-0,3
	60	3033,3	0,2
Sobre lo normal	70	3159,0	0,5
	80	3280,4	0,7
Muy sobre lo normal	90	3390,1	1,0
	100	4255,5	3,0

De los 30 años de estudio, se encontraron siete años con sequía y ocho con periodos de sequía. La Figura 15 muestra los valores del ANP de cada uno de los años del periodo de estudio. Los cinco años menos lluviosos tuvieron valores por debajo de -1,0. Además, de 1981 a 1996 se observa un escenario seco, ya que durante estos años los acumulados de precipitación a nivel nacional fueron por debajo del promedio climatológico; posteriormente, el escenario cambió a uno lluvioso o dentro de lo normal, ya que predominaron los años con acumulados de precipitación superiores o cercanos al promedio climatológico.

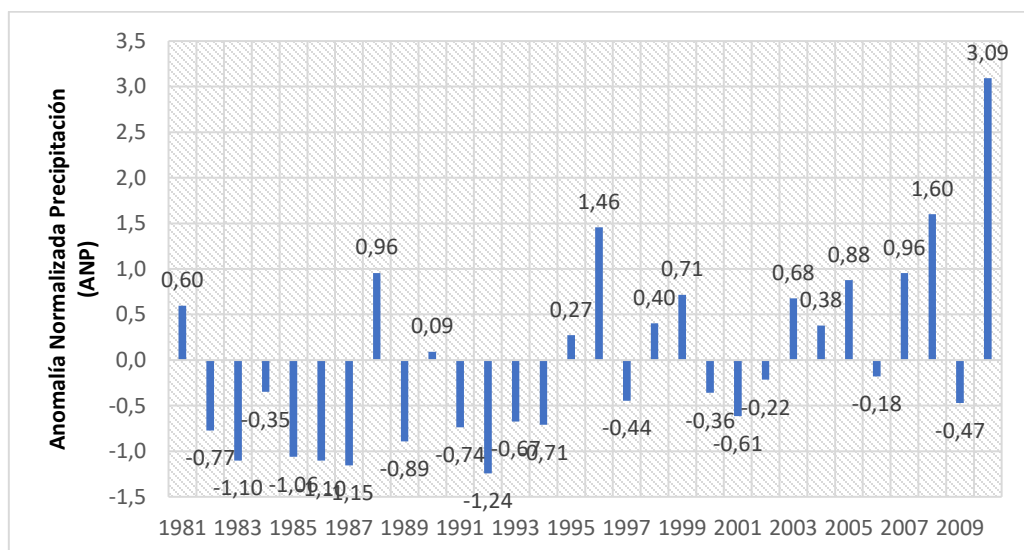


Figura 15. Anomalia normalizada de la precipitación (ANP) anual en todas las estaciones meteorológicas durante el periodo de 1981-2010.

Con el ANP, los eventos de sequía identificados en el periodo de estudio fueron los mismos que los mencionados anteriormente, siendo el evento 1982-1987 el más intenso con una magnitud de -5,6 y una duración de seis años. La Tabla 10 muestra la magnitud e intensidad de cada uno los eventos de sequía identificados.

Tabla 10. Periodos de sequía durante el periodo de 1981-2010 de acuerdo con el índice del ANP a nivel nacional

Periodo	Duración (años)	Intensidad
1982-1987	6	-5,6
1989	1	-0,9
1991-1994	4	-3,3

Por su parte, los periodos de sequía identificados son los años: 1997, del 2000-2002, 2006 y 2009, al igual que en el apartado anterior. Del cálculo de las magnitudes de los periodos de sequía, se muestra que la magnitud de uno de estos periodos puede ser igual de intenso que en un evento de sequía al juntarse varios años consecutivos con déficit, como es el caso del periodo 2000-2002 (Tabla 11), donde la magnitud fue de -1,2, pudiendo clasificarse dentro de la categoría muy bajo lo normal en ese periodo de tres años.

Tabla 11. *Periodos de sequía utilizando el criterio del ANP en el periodo 1981-2010*

Periodo	Duración (años)	Intensidad
1997	1	-0,4
2000-2002	3	-1,2
2006	1	-0,2
2009	1	-0,5

4.2.3 Aplicación de la definición de sequía utilizando el SPI-12

Del resultado de aplicar el SPI-12 en la serie de años del periodo de estudio usando el valor de $\leq -0,5$ como umbral para declarar sequía (Figura 16), se catalogaron como **eventos de sequía** los periodos de 1991-1994, 2000-2002 y 2004-2006; además del año de 2009. De acuerdo con esto, el periodo de 1991-1994 fue el evento de sequía más largo e intenso del registro, al extenderse durante cuatro años y alcanzar una magnitud de -2,1 (Tabla 12). La magnitud de la sequía se obtiene de la sumatoria de los valores negativos del SPI en años consecutivos una vez declarada ésta. Estos resultados difieren a los obtenidos en con el índice ANP, ya que los eventos de 2000-2002 y 2009 fueron catalogados como periodos de sequía y ahora son recalificados como sequías. Además, se adiciona el evento de 2004-2004, que no fue catalogado con el índice ANP.

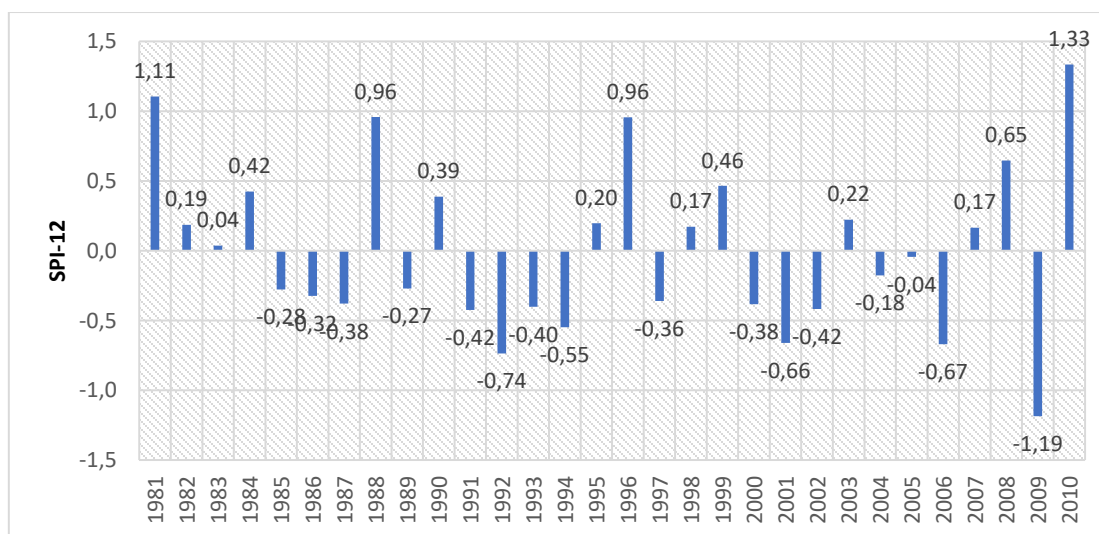
**Figura 16.** *Anomalía normalizada de la precipitación (SPI) anual en todas estaciones durante el periodo de 1981-2010.*

Tabla 12. *Periodos de sequía durante el periodo de 1981-2010 de acuerdo con el índice del SPI-12 a nivel nacional.*

Periodo	Duración (años)	Magnitud
1991-1994	4	-2,1
2000-2002	3	-1,5
2004-2006	3	-0,9
2009	1	-1,2

A diferencia del índice ANP, el SPI-12 identifica como **periodo de sequía** (Tabla 13) a los años de 1985-1987 y el año de 1989, ya que ninguno de estos periodos alcanzó el valor de -0,5 necesario para declararse la sequía; lo mismo sucedió con el año de 1997 al alcanzar un valor de -0,4. Nuevamente, al compararlo con el índice ANP, el periodo 1985-1987 y 1989 fueron recalificados ya que con el ANP se catalogaron como eventos de sequías.

Tabla 13. *Periodos de sequía durante el periodo de 1981-2010 de acuerdo con el índice del SPI-12 a nivel nacional*

Periodo	Duración (años)	Magnitud
1985-1987	3	-1,0
1989	1	-0,3
1997	1	-0,4

Se clasificaron las estaciones meteorológicas en tres escenarios según el valor del SPI-12: escenario seco (estaciones con un valor de SPI-12 $\leq -0,5$), escenario normal (estaciones con un valor de SPI-12 entre $\pm 0,5$) y escenario lluvioso (estaciones con un valor de SPI-12 $\geq +0,5$). La Figura 17 muestra la distribución anual de las estaciones meteorológicas dentro de cada uno de los escenarios. El 2009 fue el año con mayor número de estaciones dentro del escenario de sequía con 31 estaciones, de lo cual puede inferirse que el fenómeno de la sequía se registró en gran parte del territorio nacional. Por el contrario, la mayoría de las estaciones con escenario lluvioso se presentó en el año de 1981, ya que 31 estaciones se ubicaron con el escenario lluvioso; por lo tanto, se puede inferir que las lluvias fueron abundantes en todo el país.

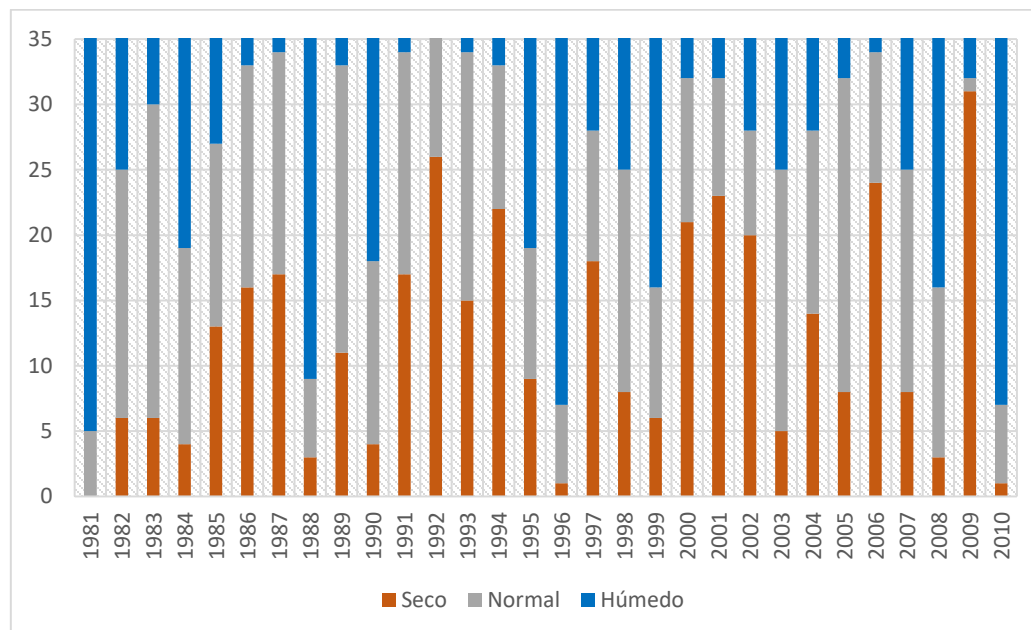


Figura 17. Número de estaciones meteorológicas dentro del escenarios secos ($SPI \leq -0,5$), normal (SPI entre $\pm 0,5$) y lluvioso ($SPI \geq +0,5$) aplicando el SPI-12 durante el periodo 1981-2010.

4.3.3 Comparación de la Anomalía Normalizada de Precipitación y el SPI

Al realizar una comparación del valor del promedio anual de SPI-12 con el ANP a nivel nacional, se obtuvo una correlación Pearson del 0,76 con un nivel de confianza de 95%, lo cual significa una fuerte correlación entre ambos índices; por lo tanto, se puede concluir que el SPI logra identificar en los escenarios secos y lluviosos que también identifica el ANP. La Figura 18 muestra la comparación anual entre el ANP y el SPI-12 durante el periodo de estudio mostrando que el comportamiento de ambos es similar.

En lo que respecta a magnitud entre ambos índices, los valores del SPI son mayores a los valores del ANP. Una posible explicación a estas variaciones puede deberse a que la ANP supone que la precipitación tiene una distribución de probabilidad gaussiana, la cual es susceptible a los acumulados bajos o altos dentro del registro; mientras que el SPI, toma en cuenta una distribución de probabilidad Gamma antes de transformarla a una distribución de probabilidad gaussiana, lo cual significa que el SPI es más resistente a valores de precipitación extremos, ya que la probabilidad que estos ocurran es baja.

Cabe recalcar que, al promediar los valores tanto del ANP como el SPI de todas las estaciones distribuidas en el país para obtener un valor nacional, se pierde la variabilidad del índice en cada región climática pudo percibirse en un año en específico. Por lo tanto, que un año en particular no calificara con sequía no significa que alguna de las regiones no haya alcanzado el umbral necesario para declarar sequía.

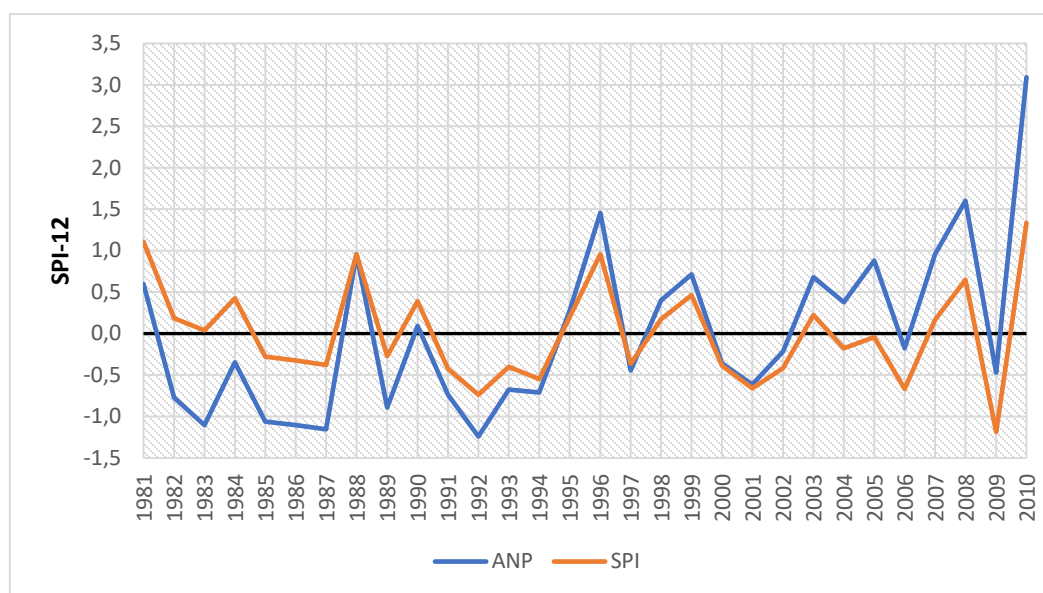


Figura 18. Comparación entre la anomalía normalizada de la precipitación promedio (ANP) y el SPI promedio a escala de 12 meses de todas las estaciones durante el periodo de 1981-2010.

A nivel regional, también se obtuvieron valores altos de correlación entre el SPI y el ANP a escala temporal de doce y seis meses lo cual muestra que el SPI captura la variabilidad en el comportamiento de las precipitaciones a nivel regional y estacional. Como lo muestra la Tabla 14, la región del Pacífico Norte tiene la mayor correlación entre ambos índices a la misma escala temporal (a escala de 12 meses 0,93 y escala de 6 meses 0,98); por el contrario, la región de la Zona Norte tuvo la menor correlación con un valor de 0,75, pero aún sigue siendo un valor significativo. Los valores anuales (escala de 12 meses) por región del ANP y SPI se encuentran en las Tabla A.10 y Tabla A.11 respectivamente; mientras que los valores por región para escala de seis meses se encuentran en las Tabla A.12 y Tabla A.13 respectivamente.

Tabla 14. *Coefficientes de correlación de Pearson entre el ANP y el SPI por región climática*

Región	ANP-12 vs SPI-12	ANP-6 vs SPI-6
Pacífico Norte	0,93	0,98
Pacífico Central	0,83	0,93
Pacífico Sur	0,81	0,91
Valle Central	0,81	0,92
Zona Norte	0,75	0,75
Caribe	0,83	0,89

4.3 Caracterización de las sequías usando el SPI

4.3.1 Caracterización entre vertientes usando SPI-12

Calculando el valor promedio del SPI-12 a cada vertiente del país (Figura 19). Se calculó la correlación de Pearson del SPI entre ambas series del SPI-12, obteniéndose una correlación de +0,08 con un nivel de confianza de 95%; al ser este valor tan bajo (aunque positivo) se puede inferir que no existe una relación lineal significativa entre ambas vertientes. En la Vertiente del Pacífico, se identificaron 11 años que alcanzaron la categoría de sequía al superar el umbral de -0,5, siendo estos: 1987, 1991, 1992, 1994, 1997, 2000, 2001, 2002, 2004, 2006 y 2009; este último año alcanzó el valor más bajo del SPI-12 en esta vertiente con -1,5. También, se identificaron tres años como periodos de sequía (años que no alcanzaron el umbral de SPI-12 de -0,5) a saber: 1986, 1989, 1993.

Por su parte, en la Vertiente del Caribe se contabilizaron siete años con sequía, siendo estos los siguientes: 1985, 1992, 1993, 1995, 1998, 2006, 2007; el año de 1985 tuvo el menor valor de SPI-12 en esta vertiente con -1,3. También se identificaron siete periodos de sequía en los años de: 1983, 1986, 1989, 1994, 2003, 2005, 2009.

Se destaca el periodo de años entre 1991-1994 y el año 2006, ya que ambas vertientes superaron el umbral de sequía, lo cual puede inferirse que la sequía estuvo presente en muchas de las estaciones del país en estos años. Por su parte, hubo periodos de sequía en ambas vertientes los años de 1986 y 1989.

Otra particularidad que muestra la Figura 19, es la existencia de dos tipos de comportamiento del índice entre ambas vertientes, teniendo como punto de inflexión el año de 1996. En la primera mitad del periodo de estudio, el comportamiento entre escenarios secos y lluviosos era el mismo en ambas vertientes, predominando más los escenarios secos en las vertientes. A partir de 1996, el comportamiento entre las vertientes cambió, predominando los escenarios lluviosos en la Vertiente del Caribe, y siendo más intensos los escenarios secos en la Vertiente del Pacífico. Este cambio en el índice pudo deberse a algún factor global haya alterado el comportamiento de las precipitaciones entre ambas vertientes a partir de 1996.

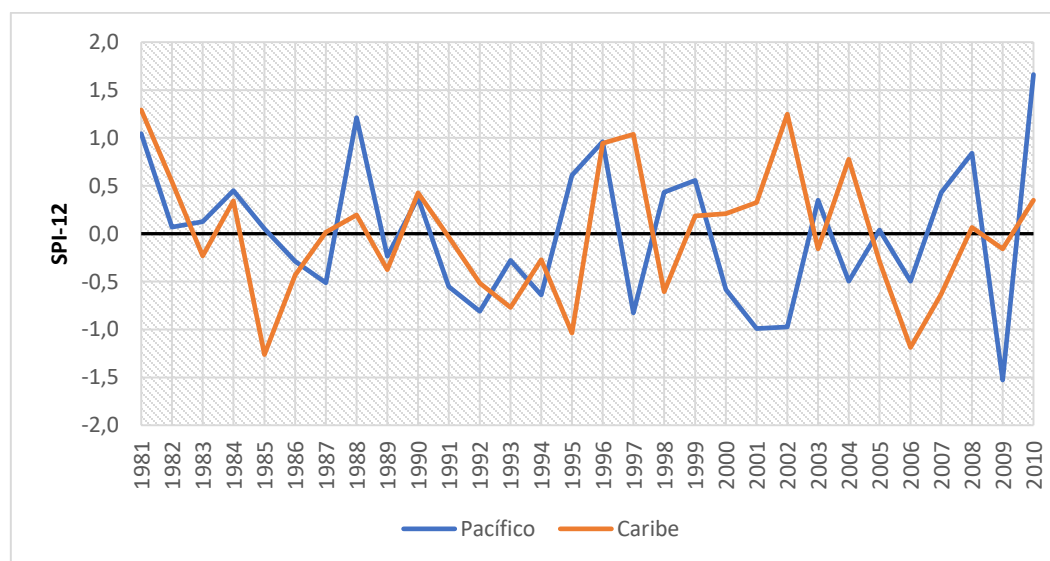


Figura 19. Promedio anual del SPI-12 en la Vertiente del Pacífico y la Vertiente del Caribe durante el periodo 1981-2010.

Como ejemplo del comportamiento del SPI entre ambas vertientes climáticas, la Figura 20 muestra la variación del SPI-12 en las estaciones meteorológicas de Llano Grande de Liberia (en el Pacífico) y Limón (en el Caribe), estando además estas estaciones localizadas en las regiones de menor y mayor acumulado promedio anual respectivamente. La figura muestra que, en la mayoría de los años del periodo de estudio, hubo escenarios inversos entre ambas estaciones; es decir, cuando hubo escenarios de sequía en Liberia, en Limón hubo escenarios lluviosos y viceversa.

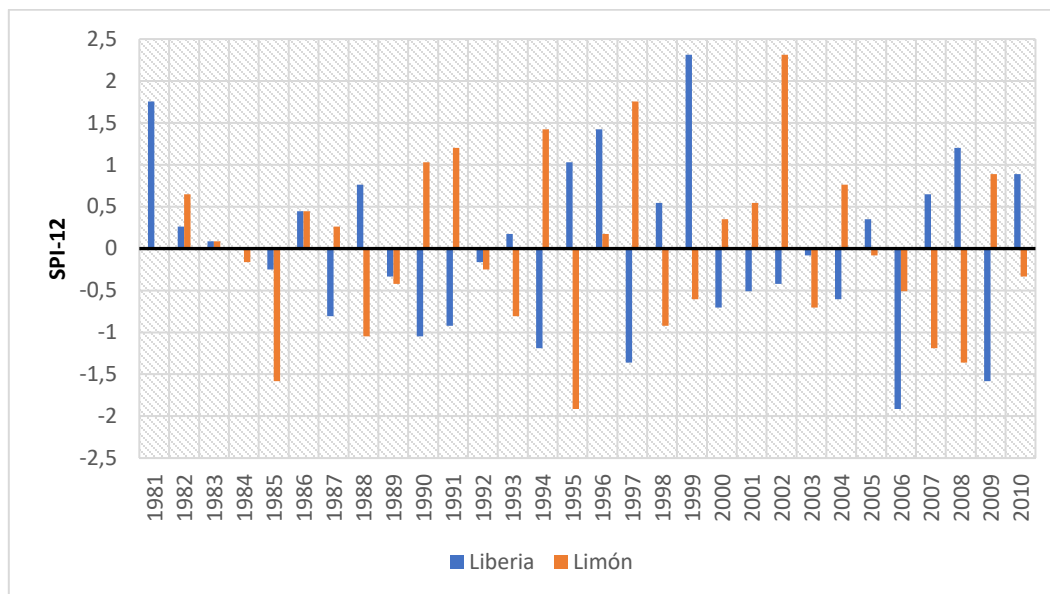


Figura 20. SPI-12 anual de las estaciones de Liberia y Limón durante el periodo 1981-2010.

4.3.2 Caracterización entre regiones climáticas usando SPI-12

Analizando la variación de SPI en las regiones de la Vertiente del Pacífico (Figura 21), se observa un comportamiento similar en todas las regiones de la vertiente, presentándose déficits y superávits al mismo tiempo entre ellas, pero con diferentes intensidades del índice. Esto es un reflejo del comportamiento de las precipitaciones en esta vertiente. La diferencia en la intensidad del valor del índice en cada región es una muestra de lo vulnerable que son estas regiones a las sequías; estas diferencias pueden deberse a factores locales propios de cada región climática como la orografía o el ingreso suficiente de humedad para factores para la generación de lluvias.

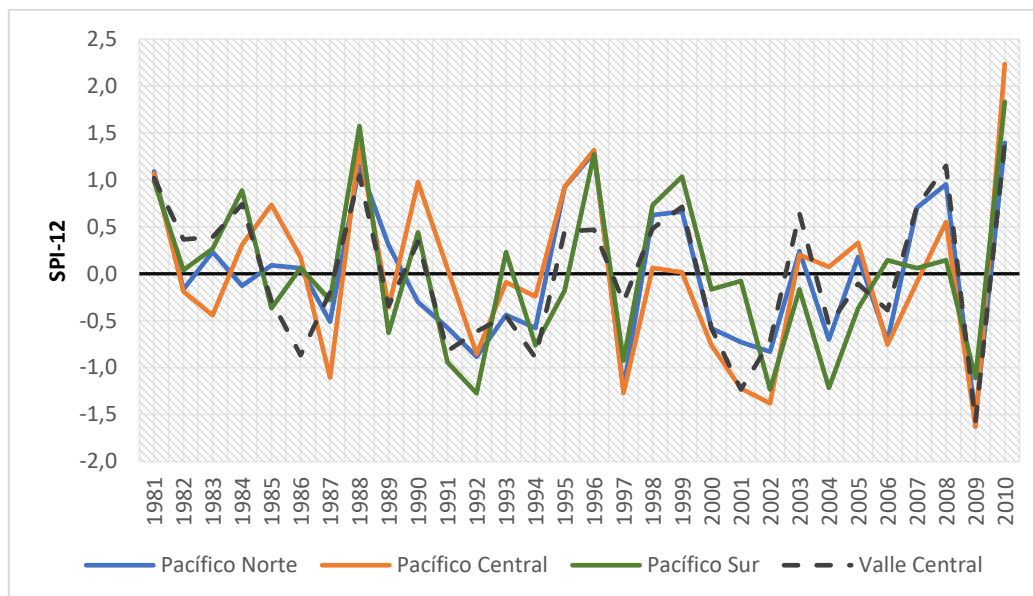


Figura 21. Promedio anual del SPI-12 de las estaciones en las regiones del Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur y Valle Central durante el periodo 1981-2010.

En las regiones del Caribe y la Zona Norte (Figura 22), el comportamiento del índice es similar en ambas regiones, acorde con el comportamiento del régimen de la Vertiente del Caribe. Sin embargo, en la región de la Zona Norte los periodos deficitarios parecen ser más extensos que en las regiones del Caribe; esto puede deberse a que, al ser las regiones del Caribe más cercanos a la costa, se puede registrar precipitaciones que ingresan desde el sector marítimo, situación que no ocurre en la Zona Norte al encontrarse lejos de la influencia de la costa.

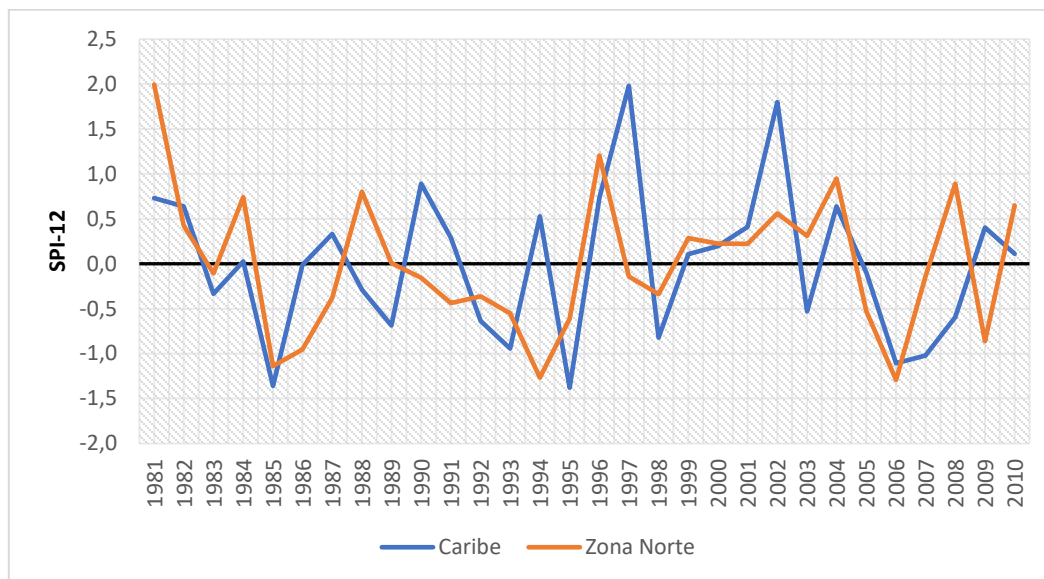


Figura 22. Promedio anual del SPI-12 de las estaciones en las regiones del Caribe y Zona Norte durante el periodo 1981-2010.

4.3.3 Análisis de las épocas lluviosas de 1981 a 2010 utilizando el SPI-6

Del resultado de la comparación entre el ANP a escala de seis meses (ANP-6) y el SPI-6 para el periodo de época lluviosa, se mostró en la tabla 14 que, a nivel regional y para esta escala de tiempo, la correlación de Pearson es +0,75 a un nivel de confianza del 95%; lo cual lo hace el índice sea muy confiable para la identificación de los escenarios secos y lluviosos. La Figura 23 muestra los acumulados de lluvias de las épocas lluvias en cada una de las vertientes climáticas del país durante el periodo de estudio.

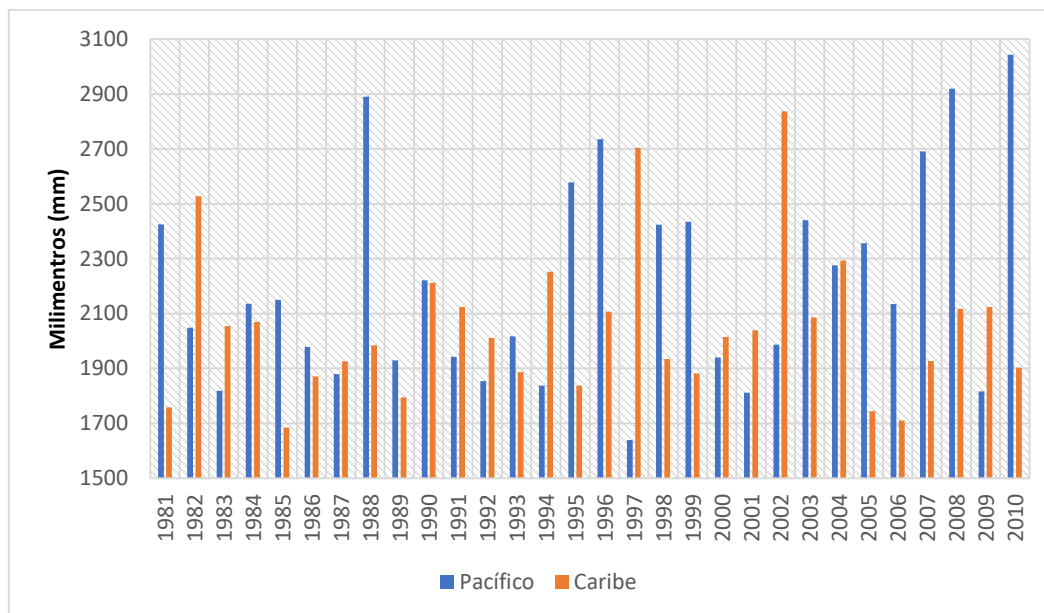


Figura 23. *Acumulado de lluvias de las épocas lluviosas en la Vertiente del Pacífico y la Vertiente del Caribe durante el periodo de 1981-2010.*

A partir de los acumulados se obtuvieron las cinco épocas lluviosas con menor acumulado a nivel nacional, siendo estas 1983, 1987, 1992, las cuales pertenecen a los años más deficitarios del periodo de estudio, además de los años 2001 y 2009; y las cinco épocas lluviosas con mayor acumulado, las cuales pertenecen a los cinco años más lluviosos de la serie. La Tabla 15 muestra los acumulados de las épocas lluviosas más deficitarias y las más lluviosas.

Tabla 15. *Años con las épocas lluviosas más lluviosos y secos del periodo 1981-2010*

Lluvioso		Seco	
Año	(mm)	Año	(mm)
2010	2757,9	2001	1869,1
2008	2719,4	1983	1879,5
1988	2663,3	1987	1891,5
1996	2578,4	1992	1893,7
2007	2499,8	2009	1894,0

Analizando el patrón atmosférico predominante durante las épocas lluviosas utilizando el reanálisis NCEP-NCAR (las figuras se encuentran en el apartado de anexo), mostraron las mismas características atmosféricas tanto en los años más secos como en los años más lluviosos. En las épocas lluviosas con menores acumulados, nuevamente se observa el patrón ventoso desde el Mar Caribe hacia el Pacífico Tropical del Este (Figura A.10); mientras que la presión atmosférica (Figura A.11) presenta un gradiente de presión entre el Golfo de México (mayor presión en esta área) y el sur del Mar Caribe (menor presión en esta área), lo cual coincide con el máximo de la intensidad de los vientos alisios en el área del oeste del Mar Caribe. En el patrón de anomalías de OLR (Figura A.12) predominaron valores positivos sobre el Mar Caribe, América Central y el Pacífico Tropical del Este, infiriéndose una menor cobertura de nubes. Además, la temperatura superficial del mar (Figura A.13) muestra un dipolo de temperatura entre las aguas frías al oeste del Mar Caribe y un Océano Pacífico cálido.

Por el contrario, durante las épocas lluviosas con mayores acumulados, la anomalía en el campo de viento muestra una predominancia de vientos oeste desde el Pacífico Tropical del Este hacia el Mar Caribe los vientos alisios (Figura A.14), como una respuesta al gradiente de presión (Figura A.15) entre los sectores marítimos, siendo mayor la presión en el Pacífico y menor en el Mar Caribe. La anomalía de la OLR (Figura A.16) es mucho menor sobre la región, lo cual se asocia a una mayor concentración de nubosidad en la región. Por su parte,

en las aguas superficiales del mar (Figura A.17) el dipolo se invierte, siendo más cálido el Mar Caribe y mucho más frío el Océano Pacífico.

Aplicando el SPI-6 a todas las estaciones (Figura 24), y clasificándolas en los tres escenarios seco ($< -0,5$), normal ($\pm 0,5$) y lluvioso ($> +0,5$), se muestra que en el año del 2009 se registró el mayor número de estaciones con valores de SPI-6 por debajo del umbral de $-0,5$ con 30 de las 36 estaciones. Por el contrario, el año 2010 fue el que presentó el mayor número de estaciones en las épocas lluviosas con mayor cantidad de estaciones con valores del SPI-6 por encima de $+0,5$.

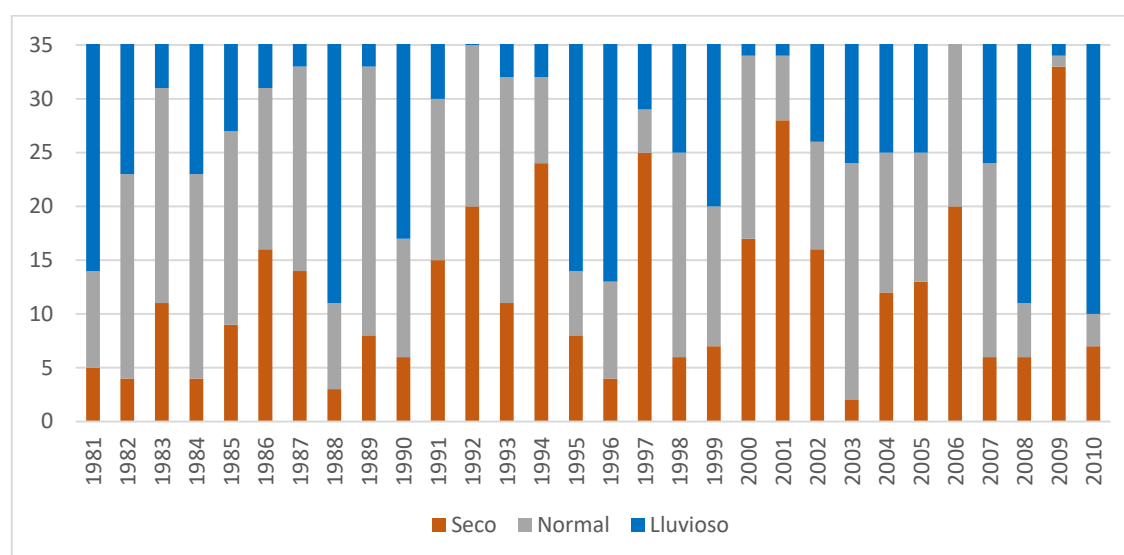


Figura 24. Número de estaciones meteorológicas dentro del escenarios secos ($SPI \leq -0.5$), normal (SPI entre ± 0.5) y lluvioso ($SPI \geq +0.5$) aplicando el SPI-6 durante el periodo de 1981-2010.

4.4 Fuentes generadores de sequía en Costa Rica y el SPI

4.4.1 El fenómeno ENOS y la relación del SPI en las épocas lluviosas 1981-2010

Uno de los principales fenómenos de variabilidad climática que tiene un impacto directo en las precipitaciones de Costa Rica es el fenómeno ENOS. De acuerdo con el Índice Oceánico del Niño (ONI por sus siglas en inglés), entre los años de 1981-2010 se presentaron diez eventos cálidos conocidos como El Niño, y diez eventos fríos conocidos como La Niña. La Figura 25 muestra la variación del índice ONI durante el periodo de estudio y la Tabla 16 los eventos del ENOS que fueron declarados en ese mismo registro.

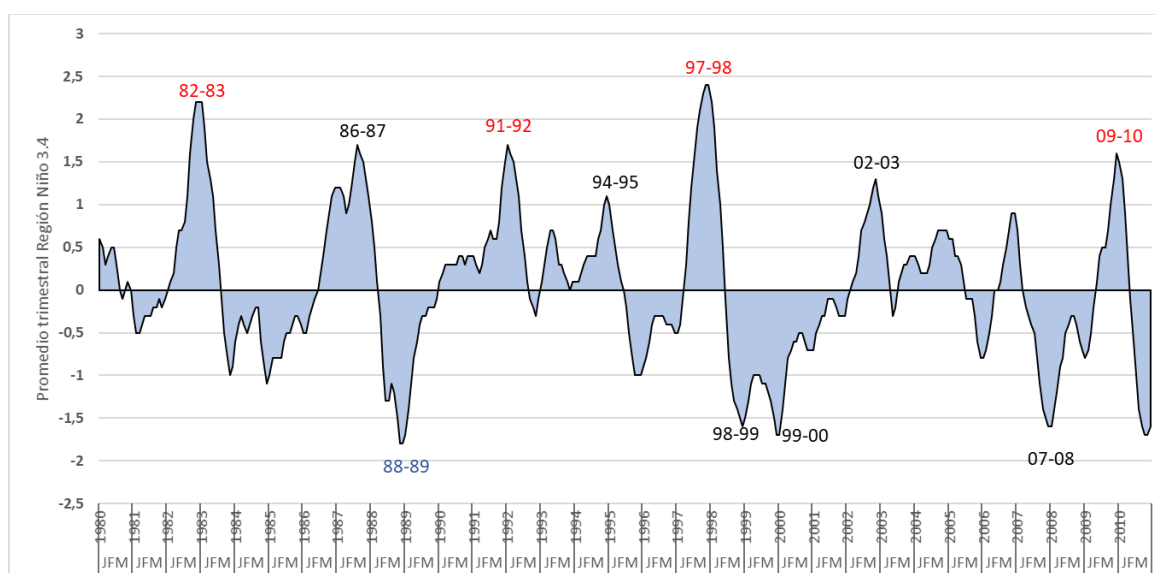


Figura 25. Serie de tiempo con el Índice Oceánico del Niño (ONI). En rojo, eventos fuertes de El Niño; en azul, evento fuerte La Niña; en negro, eventos moderados para ambas fases. Fuente: CPC-NOAA periodo 1981-2010

Tabla 16. Clasificación de las fases del ENOS en el periodo 1981-2010 con base en el Índice Oceánico del Niño (ERSSTv5).

El Niño	La Niña
1982-1983	1983-1984
1986-1987	1984-1985
1987-1988	1988-1989
1991-1992	1995-1996
1994-1995	1998-1999
1997-1998	2000-2001
2002-2003	2005-2006
2004-2005	2007-2008
2006-2007	2008-2009
2009-2010	2010-2011

En general, el fenómeno del ENOS (en cualquiera de sus fases) tiene diferentes impactos en cada una de las regiones climáticas del país, como lo muestra los valores del SPI-6 en la Tabla A.15. para El Niño y la Tabla A.16 para La Niña. Esta característica puede deberse tanto a la intensidad que alcanzó el ENOS durante su desarrollo, como su duración, e incluso a los meses de inicio y de final y del fenómeno; ocasionando efectos en forma directa o indirecta a la época lluviosa. De las 30 épocas lluviosas estudiadas, en 12 estuvo presente El Niño y en diez La Niña, además de ocho épocas lluviosas con la fase neutra del ENOS. A continuación, se explica el comportamiento de las estaciones lluviosas en cada una de las fases del ENOS:

El Niño

Durante los años El Niño, predominaron los escenarios secos o con sequía en las regiones de la Vertiente del Pacífico, siendo los más deficitarios los años 1997 y 2009, alcanzando la categoría de “*moderadamente seco*”. En la Vertiente del Caribe predominaron los escenarios lluviosos, siendo los años de 1982, 1997 y 2002 los más lluviosos, clasificándose dentro de la categoría “*moderadamente lluvioso*”; también se registraron años deficitarios en esta vertiente (1986, 2009 y 2006), alcanzando la categoría de “*moderadamente seco*” en el 2006.

La Tabla 17 resume la clasificación completa de todas las épocas lluviosas donde estuvo presente El Niño. En particular, el valor más bajo del SPI fue de -1.7 en la región del Pacífico Norte durante El Niño del 1997, alcanzando la categoría de “*severamente seco*”; mientras que el valor más alto de SPI se registró en las regiones del Caribe con +2.1, alcanzando la categoría “*extremadamente lluvioso*”, también en el año de 1997. Los valores promedios del SPI-6 a nivel regional se encuentran en la **Tabla A.15**.

Tabla 17. *Clasificación de las épocas lluviosas durante los años de la fase cálida del ENOS o El Niño*

Escenario	Pacífico	Caribe
Moderadamente lluvioso	-	1982-1997-2002
Lluvioso	-	1983-1991
Normal -lluvioso-	-	1987-1992-1994-2004
Normal -seco-	1982- 1986 -1987-2004	1986
Seco	1983-1991-1992-1994-2002- 2006	2009
Moderadamente seco	1997- 2009	2006

La Niña

Durante los años que estuvo presente el fenómeno de La Niña (Tabla 18), las regiones de la Vertiente del Pacífico predominaron con escenarios lluviosos (excepto el año 2000 que tuvo un escenario “*seco*”); mientras que, en las regiones del Caribe predominaron los escenarios normales, excepto las estaciones lluviosas de los años 1985 y 2007 que tuvieron escenarios “*seco*” y 2010 que tuvo escenarios “*moderadamente seco*”. Caso aparte es la región de la Zona Norte, ya que ocurrieron la misma cantidad de escenarios secos o lluviosos tanto en El Niño como en La Niña. Estos resultados son similares a los presentados en el documento “Variabilidad, Clima y Cambio Climático” del IMN, el cual menciona que el régimen de lluvias se altera ante la presencia de alguna de las fases del ENOS en las regiones del Pacífico y el Caribe, pero que en la región de la Zona Norte esta señal no es clara. Los valores promedios del SPI-6 a nivel regional se encuentran en la Tabla A.16.

Tabla 18. Clasificación de las épocas lluviosas durante los años de la fase fría del ENOS o La Niña

Escenario	Pacífico	Caribe
Severamente lluvioso	1988	-
Moderadamente lluvioso	2010	-
Lluvioso	1995-1999-2007-2008	-
Normal -lluvioso-	1985-1998	1988-1989
Normal -deficitario-	1989	1995-1998-1999- 2000 -2008
Seco	2000	1985-2007
Moderadamente seco	-	2010

Años neutro

El comportamiento de las ocho épocas lluviosas en fase neutra del ENOS (Tabla 19) fue variable, y sin una relación clara entre los valores del ONI y el déficit o superávit de las precipitaciones. Por el ejemplo: en la Vertiente del Pacífico, la época lluviosa de 1996 se catalogó como “*moderadamente lluvioso*”, siendo esta época lluviosa antecedida por evento de La Niña en 1995, que finalizó en el trimestre febrero-marzo-abril de 1996. Por el contrario, la época lluviosa de 2001 fue catalogada como “*seco*” durante el evento de La Niña 1998-2001, evento que finalizó en el trimestre de febrero-marzo-abril de 2001.

En la Vertiente del Caribe, la época lluviosa del 2005 fue la más deficitaria, siendo este año de transición del fenómeno de El Niño a La Niña, comportamiento acorde los efectos de La Niña en la vertiente, pero en 1984 el índice del ONI tuvo valores negativos todo el año sin alcanzar el umbral de La Niña, y en las regiones de la Vertiente del Caribe hubo escenarios lluviosos. Los valores promedios del SPI-6 a nivel regional se encuentran en la Tabla A.17.

Tabla 19. Clasificación de las épocas lluviosas durante los años de fase neutral del ENOS

Escenario	Pacífico	Caribe
Moderadamente lluvioso	1996	-
Lluvioso	1981	1984-1990
Normal -lluvioso-	1984-1990-2003-2005	1981-1996
Normal -deficitario-	1993	1993-2001-2003
Seco	2001	-
Moderadamente seco	-	2005

4.4.2 Los casos de El Niño 1997-1998 y La Niña 1988-1989

A continuación, se presentan los resultados de las épocas lluviosas con el SPI-6 en los eventos de El Niño 1997-1998 y La Niña 1988-1989, ya que estos fueron los eventos ENOS más intensos que ocurrieron durante el periodo de estudio. También, se analizan las épocas lluviosas de los años de 2000, 2001, 2006 y de 2009, donde hubo escenarios deficitarios en todas las regiones del país, estando presente alguna las fases del ENOS.

El Niño 1997-1998

Durante este evento, se registró los valores del SPI-6 más negativos para las regiones de del Pacífico, calificándose dentro de la categoría “*moderadamente seco*” (valores del SPI por debajo de $> -1,0$); mientras que, en el Valle Central se calificó en la categoría de “*seco*”. Por el contrario, las regiones del Caribe el valor del SPI-6 fue de $+2,1$, siendo este más alto del periodo de estudio, catalogándose a estas regiones dentro de la categoría “*extremadamente lluvioso*” (valores del SPI-6 por encima de $+2,0$). Por su parte, la región de la Zona Norte se vio influenciada por las lluvias ocurridas durante este evento; por lo tanto, esta región se cataloga dentro de la categoría “*normal*” (valores del SPI-6 entre $\pm 0,5$), pero algunas estaciones dentro de la región registraron escenario lluvioso. La Figura 26 muestra el comportamiento del SPI-6 regional durante el año 1997.

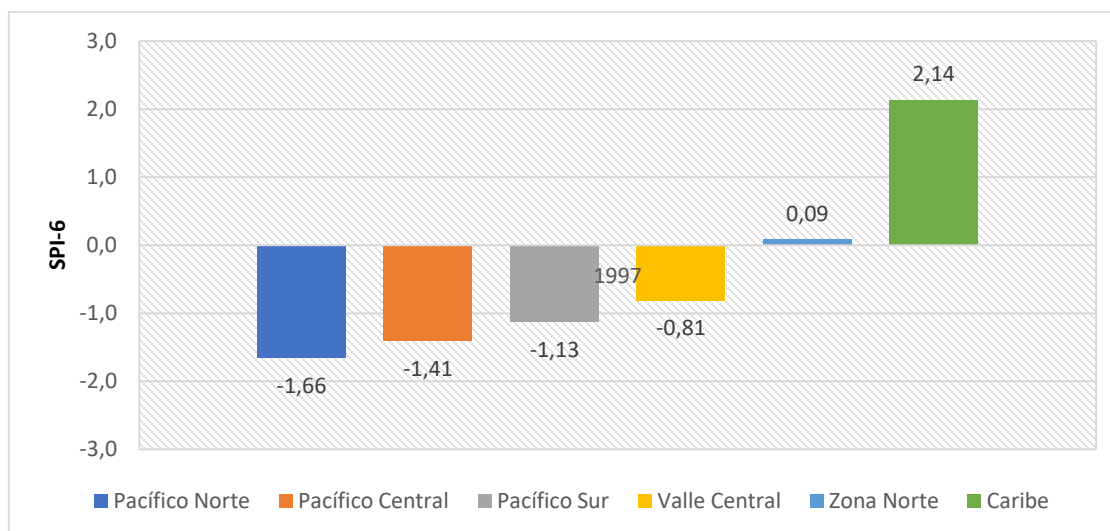


Figura 26. Promedio regional del SPI-6 en época lluviosa durante en el año El Niño de 1997.

El Niña 1988-1989

El evento de La Niña 1988-1989 es el evento más intenso de la fase fría del ENOS dentro del periodo de estudio. En las regiones de la Vertiente del Pacífico se alcanzaron los valores más altos del SPI-6, siendo el Pacífico Sur donde se registró el mayor valor con +2,1, catalogándose en la categoría “*extremadamente lluvioso*”, la región del Pacífico Central se catalogó como “*severamente lluvioso*” con un valor de +1,7; mientras que el Pacífico Norte, el Valle Central se catalogaron como “*moderadamente lluvioso*” con valores del SPI de +1,2 y +1,3 respectivamente; e incluso la Zona Norte, las lluvias caídas en ese periodo hicieron que esa región calificara como lluvioso con un valor de SPI de +0,8.

Solamente las regiones del Caribe tuvieron valores negativos del SPI, pero sin alcanzar el umbral de -0,5; por lo tanto, se clasifican estas regiones dentro del escenario “*normal*”. Cabe recordar, que además de las abundantes lluvias producto de La Niña durante 1988, hubo dos ciclones tropicales: Gilbert (cat.5) en setiembre y Joan (cat. 4) en octubre, que provocaron temporales en el país, aportando una mayor cantidad de precipitaciones a los acumulados de ese año. La Figura 27 muestra el comportamiento del SPI-6 regional durante el año 1988.

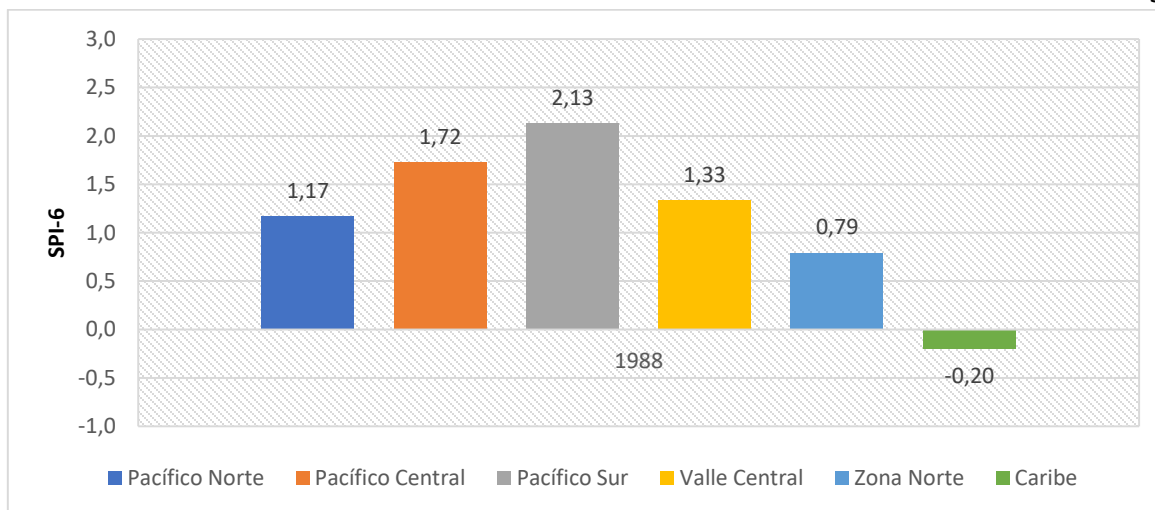


Figura 27. Promedio regional del SPI-6 en época lluviosa durante el año La Niña de 1988.

Los años de 2000-2001, 2006 y 2009

Se destacan estos años ya que se presentaron escenarios de secos en todas las regiones climáticas del país. Los años 2000 y 2001 (Figura 28) son parte del evento de La Niña 1998-2001, pero hubo escenarios deficitarios en todas regiones del país, cayendo incluso en eventos de sequía en las regiones del Pacífico Norte, Pacífico Central, Valle Central y la Zona Norte en el 2000 e intensificándose en el 2001.

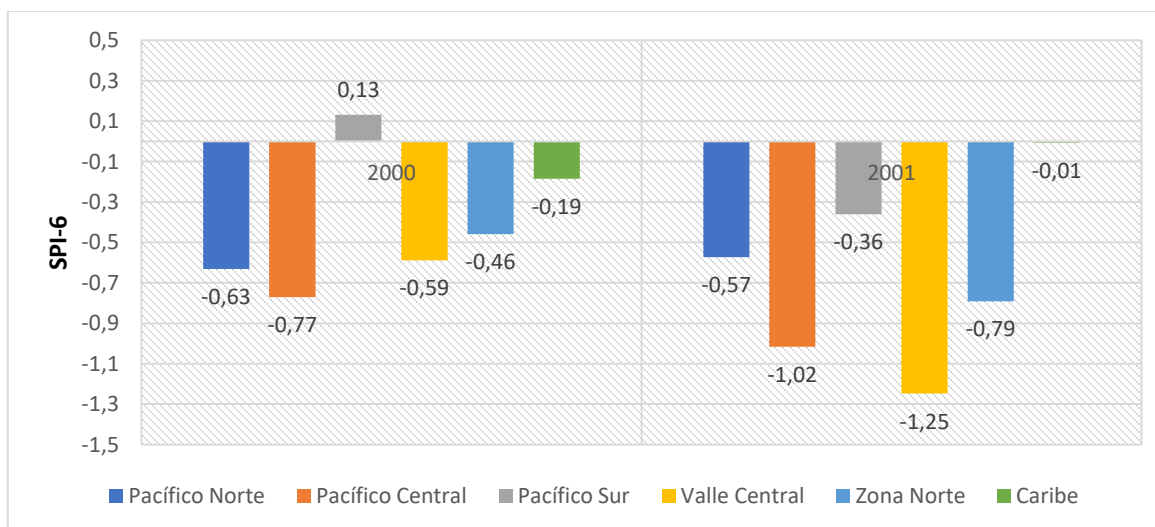


Figura 28. Promedio regional del SPI-6 en época lluviosa durante en el año La Niña de 2000-2001.

Durante El Niño 2006 las regiones del Caribe y la Zona Norte alcanzaron la categoría “*moderadamente seco*” (Figura 29), al registrarse valores del SPI-6 de -1,3 y siendo estos los más bajos registrados en el periodo de estudio. Esta situación es contraria al resto de eventos de El Niño donde se presentaron escenarios lluviosos.

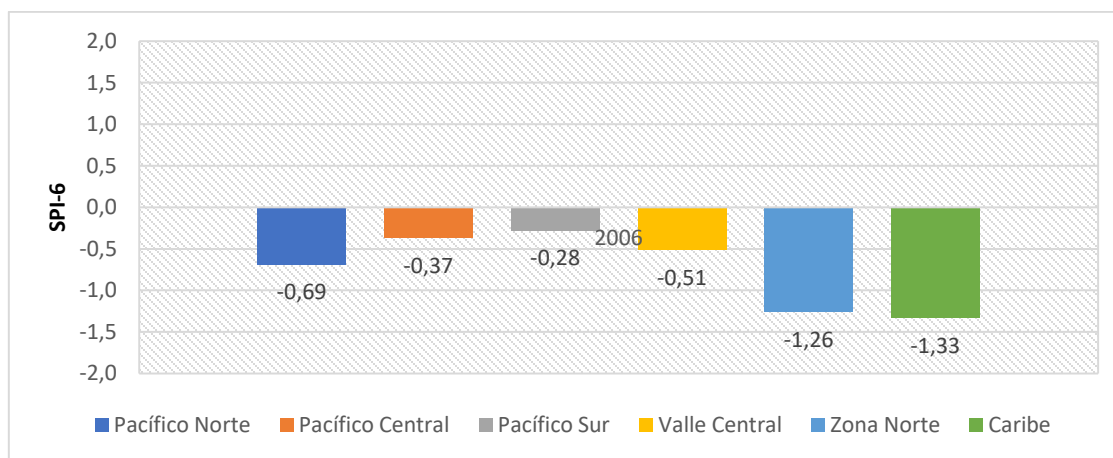


Figura 29. Promedio regional del SPI-6 en época lluviosa durante el año El Niño de 2006.

Por su parte, en el evento de El Niño 2009 (Figura 30) en las regiones de la Vertiente del Pacífico y la región de Zona Norte el SPI-6 alcanzó valores entre -1,0 y -1,4, cayendo dentro de la categoría un escenario “*moderadamente seco*”, siendo el Valle Central donde se percibió con mayor intensidad la sequía con un SPI-6 de -1,4. Mientras que, en las regiones del Caribe el escenario también fue deficitario, pero catalogado dentro de la categoría normal, ya que el valor del SPI-6 fue -0,2; aunque, en tres de las cinco estaciones analizadas alcanzaron el umbral de sequía.

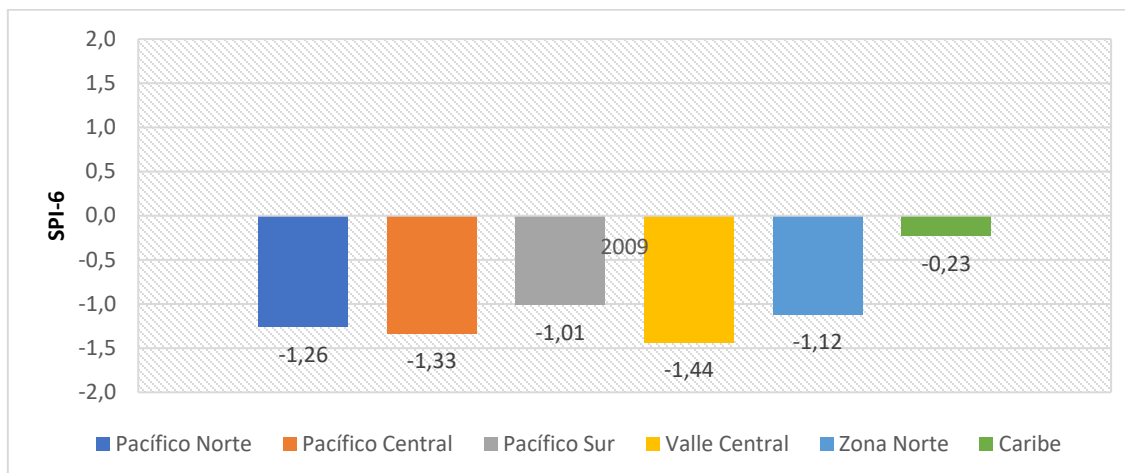


Figura 30. Promedio regional del SPI-6 en el año El Niño de 2009.

4.4.2 Relación de la sequía con las Oscilaciones Multidecenales

En Costa Rica, pocas veces son consideradas las sequías de larga duración -sequías que se extiendan por años-, ya que basta que se junte una época lluviosa deficitaria con la época seca, para ocasionar trastornos en la disponibilidad de recursos hídricos, y esto se considere como una sequía prolongada en el área de afectación. Sin embargo, al analizar series de precipitación de larga data, se observan periodos de lustros o décadas que son más lluviosos que otros.

Este comportamiento está relacionado con la variabilidad climática, es decir, con oscilaciones atmosféricas que cambian de fase en esos mismos periodos de tiempo de cinco a diez años, o incluso más. Al ser oscilaciones de baja frecuencia, el cambio en el régimen de precipitaciones es lento, haciendo que identificar el fenómeno de sequía en una región sea complejo.

Del resultado de aplicar la técnica de componentes principales en las estaciones meteorológicas con los valores del SPI-24 (Figura 31), se muestra que el comportamiento de las precipitaciones en las estaciones de la Vertiente del Pacífico (regiones del Pacífico y el Valle Central) son similares y de comportamiento contrario a las estaciones de la Vertiente del Caribe. Dicho esto, se puede inferir que cuando el SPI muestra escenarios deficitarios en

las regiones del Pacífico y el Valle Central, las regiones del Caribe tienen escenarios lluviosos, y viceversa.

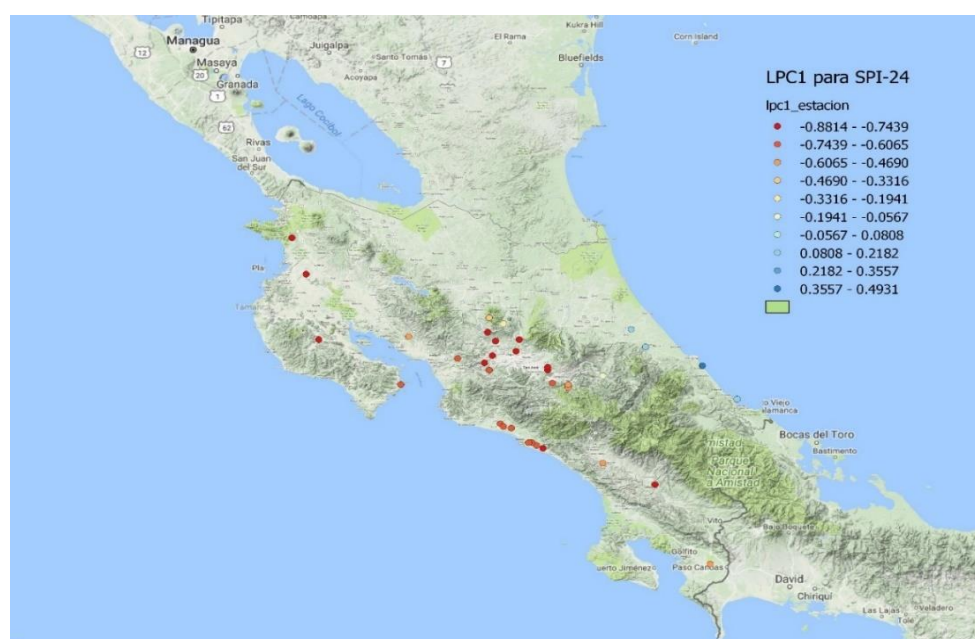


Figura 31. *Relación de las componentes principales utilizando el SPI-24 entre las estaciones meteorológicas.*

Durante el periodo de estudio (1950-2010), se obtuvo un promedio móvil de 24 meses tanto de la AMO como de la PDO, el cual se muestra el comportamiento de ambas oscilaciones en la Figura 32. Durante este periodo, la AMO tuvo una fase positiva (AMO+) entre los años de 1950-1964 y 1998-2010, y una fase negativa (AMO-) entre 1965-1997.

Por su parte, la PDO tuvo cambios de fases más frecuentes, predominando la fase negativa (PDO-) desde mediados de los 1950 hasta 1977, con un cambio a fase positiva (PDO+) entre 1959-1962; luego predominó PDO+ desde 1977-1998, con un pequeño periodo de PDO- entre 1990-1994; y nuevamente cambió a PDO- de 1998-2010.

Comparando el comportamiento de ambas oscilaciones, se observan periodos en que las oscilaciones tuvieron signos contrarios, identificándose a los periodos de 1950-1965 y 1998-2010 con fases de AMO + y PDO-; y el periodo de 1977-1998, predominaron las fases de AMO- y PDO+. Por el contrario, en el periodo 1965-1977, predominó la AMO- y PDO-. Hubo dos pequeños periodos donde también coincidieron las fases de ambas oscilaciones, la primera entre 1959-1963 AMO+ y PDO; y 1991-1993 AMO- y PDO-.

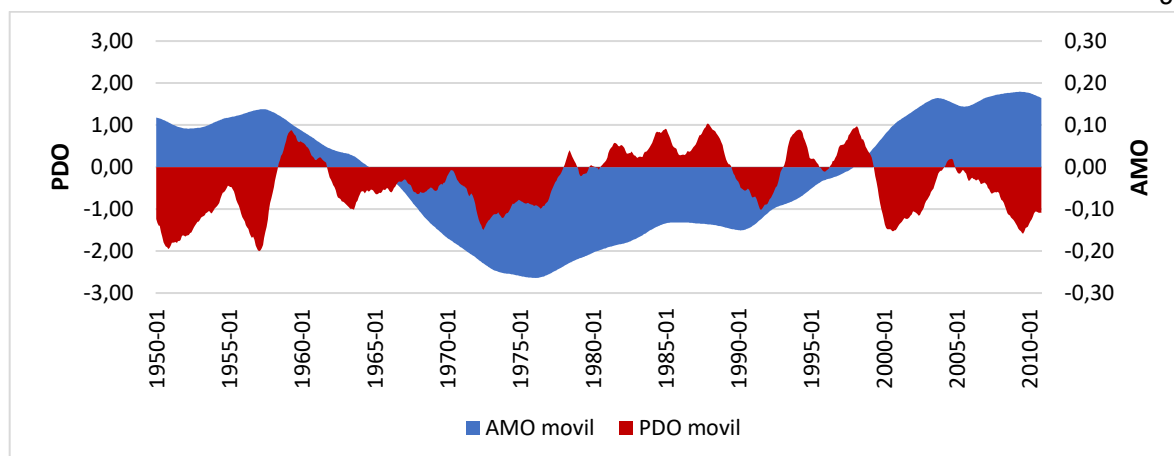


Figura 32. Valores mensuales de la PDO y la AMO durante el periodo de 1950-2010.

La Figura 33 muestra la variación del SPI-24 representando los valores negativos los escenarios secos y los valores positivos los escenarios lluviosos. Durante el periodo de 1950-1965 predominó el escenario lluvioso coincidiendo con una combinación de las oscilaciones de AMO+ y PDO-, lo mismo que sucedió en el periodo 1998-2010. Por su parte, en el periodo de 1965-1998, prevalecieron los escenarios secos coincidiendo con una fase de AMO-; sin embargo, hubo más escenarios lluviosos entre 1965-1977 coincidiendo con una fase de PDO-, y luego prevaleció el escenario más seco y prolongado del registro desde 1977 hasta 1998 coincidiendo con una fase de PDO+. Estos resultados se resumen en la Tabla 18, donde el signo “+” significa fases positivas y el signo “-” fases negativas de las oscilaciones; en el caso del SPI-24, el signo “+” significa predominancia de escenarios lluviosos y el signo “-” significa escenarios secos.

Tabla 20. Signo de los índices de la PDO y AMO que ocasionan escenarios lluviosos o secos prolongados utilizados con el SPI-24

Periodo	AMO	PDO	SPI-24
1950-1964	+	-	+
1965-1977	-	-	+
1978-1998	-	+	-
1999-2010	+	-	+

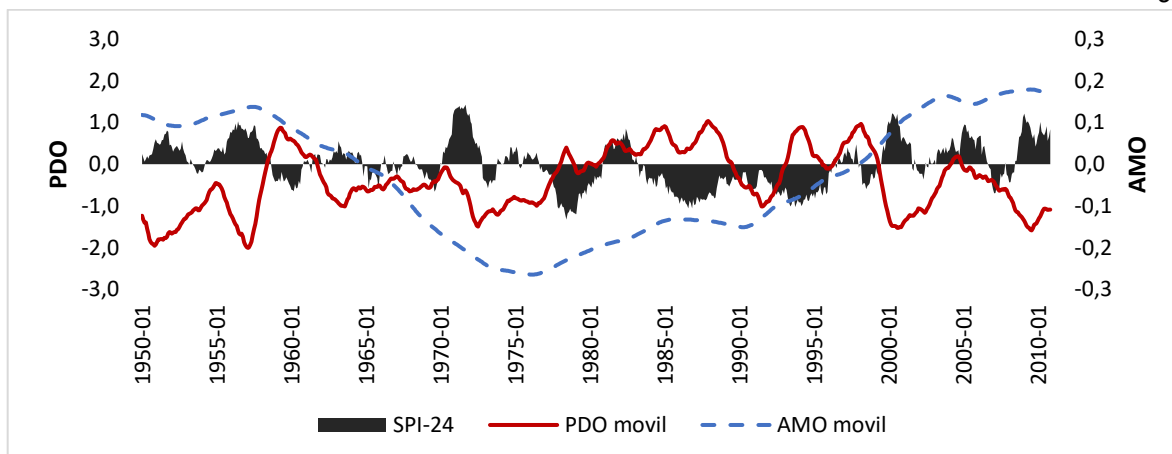


Figura 33. Comparación SPI-24 con las oscilaciones multidecenales.

Estas combinaciones de las oscilaciones relaciones parecen tener una fuerte relación en el comportamiento de las precipitaciones a nivel nacional. Calculando los coeficientes de correlación entre las series de PDO y AMO con SPI-24, se obtuvo un valor de correlación de Pearson a un nivel de confianza del 95% es de -0,34 entre la PDO y el SPI-24 con un valor-p de 0,02; con lo cual, la relación entre ambas series es significativa; esto implicaría que la relación los escenarios negativos del SPI-24 estarían relacionados con valores positivos de la PDO y viceversa. Cabe destacar que, en la serie de la PDO no se filtró la señal del ENOS, la cual se ve reforzada cuando ambas oscilaciones se encuentran en fase, mientras que lo contrario sucede cuando están en desfase, como lo mostró Fallas (2009).

Por su parte, el coeficiente de correlación de Pearson con un nivel de confianza del 95% entre la AMO y el SPI-24 es de +0,37, con un valor-p de 0,511; si bien este valor-p es muy alto, este resultado es acorde con estudios realizados con anterioridad a este trabajo como Alfaro (2007) y Maldonado et al (2013). Este valor-p tan alto puede deberse a que el periodo de tiempo de estudio solamente abarcó un ciclo completo de la AMO. Cabe destacar también que, la relación entre la AMO y con las precipitaciones es mayor cuando se relaciona con el ENOS, en como mostró Maldonado et al (2013)

Al observar las tablas de contingencia en cada una de las oscilaciones con el SPI-24 a nivel nacional, cuando se registró la fase de la PDO+, hubo un mayor número de casos de SPI-24 negativos; mientras que cuando ocurrió una fase PDO-, hubo un mayor número de

casos de SPI-24 negativos. Lo cual confirma, la relación inversa mostrada anteriormente (Tabla19).

Tabla 21. *Tabla de contingencia entre la PDO y el SPI-24*

PDO	SPI-24 positivo	SPI-24 negativo
Positivo	105	167
Negativo	260	196

Por su parte, la relación entre las fases de la AMO y el SPI-24 es más claras. El número de casos del SPI-24 positivos ocurrieron con la AMO+, lo mismo sucede con el número de casos de SPI-24 negativos coinciden con la AMO- (Tabla 20).

Tabla 22. *Tabla de contingencia entre la AMO y el SPI-24*

AMO	SPI-24 positivos	SPI-24 negativos
Positivo	235	94
Negativo	129	271

Relación entre las oscilaciones multidecenales y las vertientes climáticas

Analizando la variación del SPI-24 entre ambas vertientes (Figura 34), se destacan periodos con un comportamiento inverso, como el periodo de 1960-1963, el lustro de 1965-1970 y la década del 2000-2010; mientras que, en el periodo de 1985-1995 se caracterizó porque en ambas vertientes se presentaron escenarios deficitarios, siendo más intensos en las estaciones de la Vertiente del Caribe que en las estaciones de la Vertiente del Pacífico. Sin embargo, el coeficiente de correlación de Pearson con un nivel de confianza al 95% entre ambas series de tiempo es de +0,05 con un valor-p de 0,767, de lo cual se infiere que, entre ambas series, no existe una relación clara del comportamiento inverso entre ambas series de precipitación en este periodo de estudio.

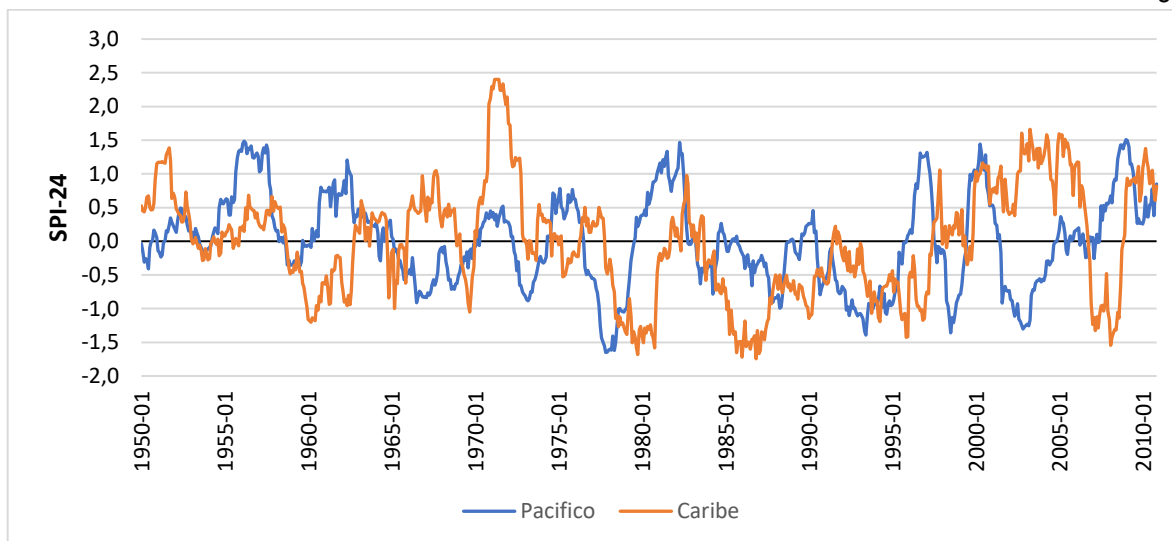


Figura 34. Valores promedio del SPI-24 de las estaciones de la Vertiente del Pacífico (azul) y la Vertiente del Caribe (naranja) durante el periodo de 1950 al 2010.

Vertiente del Pacífico

Al analizar la relación del SPI-24 de cada una de las vertientes con la PDO y la AMO, se observa un comportamiento más claro entre el SPI y las oscilaciones.

En la Vertiente del Pacífico, existe un comportamiento inverso entre el SPI-24 y la PDO (Figura 35); con una predominancia de escenarios de SPI positivos en periodos como 1950-1959 o 2000-2010 cuando la PDO se encontraba en una fase negativa; por el contrario, predominaron escenarios de SPI negativos en 1983-1995 con una fase PDO positiva. El coeficiente de correlación de Pearson con un nivel de confianza al 95% entre estas dos series es de -0,24 con un valor-p de 0,084, confirmando la relación negativa observada la Figura 32.

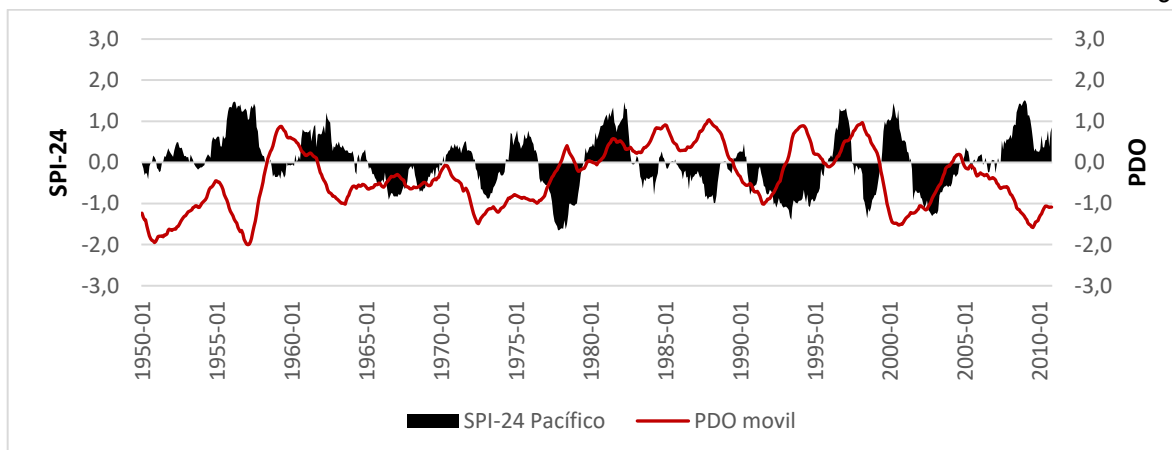


Figura 35. Relación del SPI-24 en la Vertiente del Pacífico y PDO.

Por su parte, en la relación entre la SPI-24 y la AMO (Figura 36), nuevamente muestra una correlación positiva entre ambas series, en donde la predominancia de escenarios de SPI positivos coincide con fases positivas de la AMO; mientras que, predominó los escenarios de SPI negativos cuando la AMO estuvo en su fase negativa. El coeficiente de correlación Pearson con un nivel de confianza al 95% entre ambas series de +0,25 con un valor-p de 0,429. Nuevamente, si bien el valor de la correlación es acorde con estudios previos, el valor-p tan alto puede deberse a que solamente se tiene un ciclo completo de la AMO dentro del periodo de estudio.

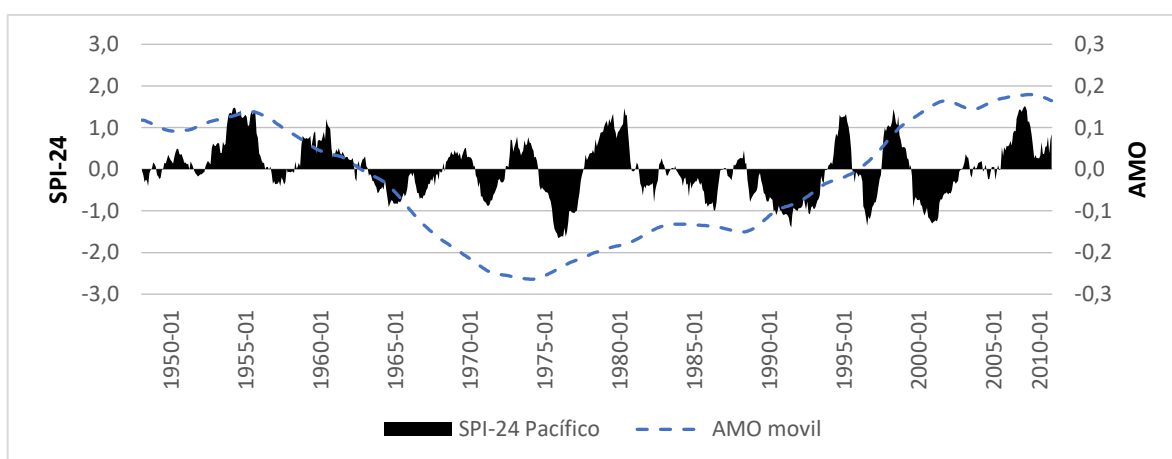


Figura 36. Relación del SPI-24 en la Vertiente del Pacífico y AMO.

Vertiente del Caribe

En la Vertiente del Caribe, relación entre el SPI-24 y la PDO (Figura 37) muestra una predominancia de escenarios de SPI positivos cuando la PDO estuvo en su fase negativa; por el contrario, predominaron los escenarios del SPI negativos cuando la PDO estuvo en su fase positiva. El resultado del cálculo del coeficiente de correlación Pearson con un nivel de confianza al 95% confirma lo observado, al obtenerse un $-0,25$ de coeficiente de correlación con un valor-p de $0,068$.

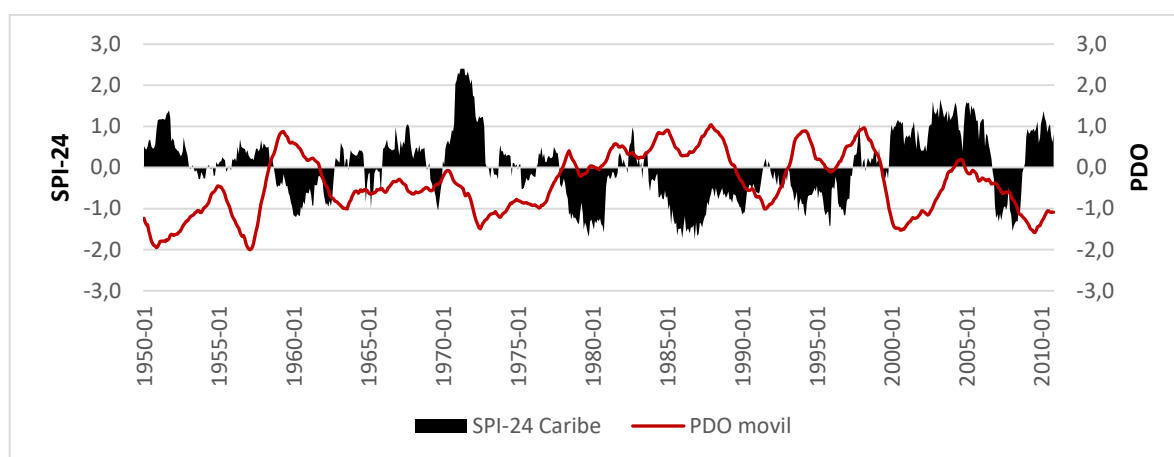


Figura 37. Relación del SPI-24 en la Vertiente del Caribe y PDO.

Por su parte, en la relación entre el SPI-24 y la AMO (Figura 38) se observa una relación positiva entre ellas, con una predominancia de escenarios de SPI negativos cuando la AMO estaba su la fase negativa entre los años de 1965 y 1998; mientras que el predominio de escenarios de SPI positivos coinciden con la AMO en su fase positiva, como ocurrió en los periodos de 1950-1965 y 1998-2010. El coeficiente de correlación Pearson con un nivel de confianza al 95% obtenido entre ambas series es de $+0,24$ con un valor-p de $0,541$.

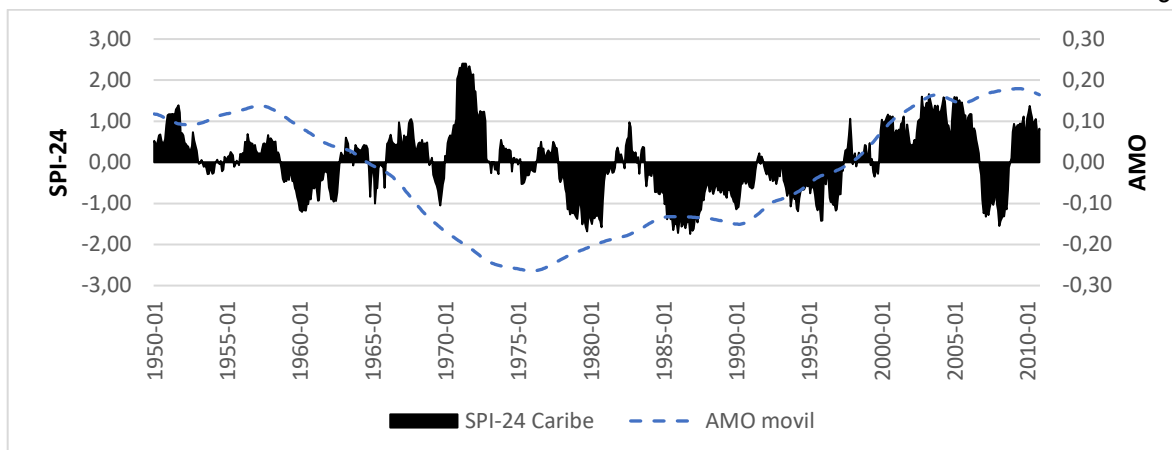


Figura 38. Relación del SPI-24 en la Vertiente del Caribe y AMO.

Descripción del comportamiento regional con las oscilaciones multidecenales

Se examinó el comportamiento de las precipitaciones en una estación representativa para de cada región climática, utilizando gráficos multiescalares del SPI con escalas de 1 a 36 meses y tomándose en cuenta solamente los valores del SPI-24 a SPI-36 para identificar los escenarios lluviosos y secos prolongados.

En las estaciones de Argentina de Grecia (Figura 39) en el Valle Central, Quebrada Azul (Figura 40) en la Zona Norte; Limón (Figura 41) y CATIE (Figura 42) en el Caribe, se observa un periodo prolongado con escenario seco en la década de los 80 y 90, seguido de un escenario lluvioso en la década del 2000.

Estos de escenarios coinciden con la combinaciones de las fases de las oscilaciones de la AMO y PDO (AMO- con PDO+ de 1970-1995, y AMO+ con PDO de 1995-2010), lo cual muestra la relación encontrada en la Tabla 20. Nuevamente, estas relaciones son más claras cuando al tomar en cuenta la señal del ENOS dentro del estudio.

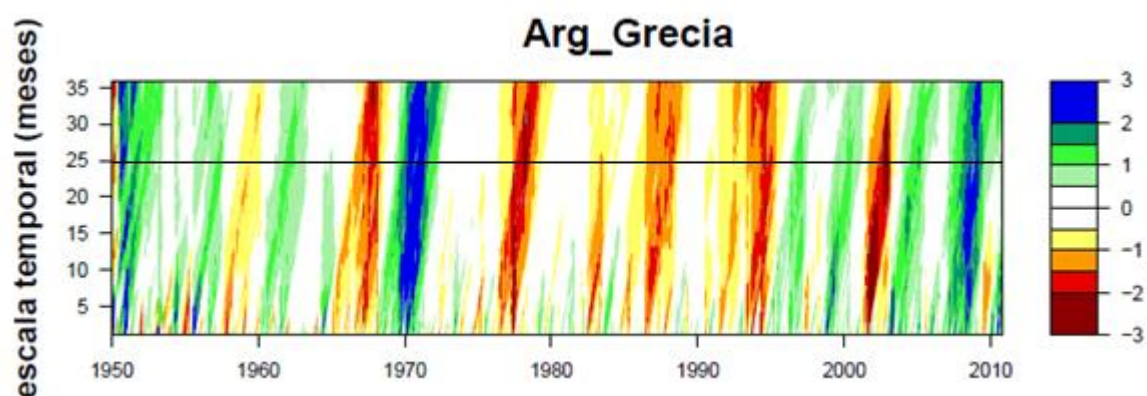


Figura 39. Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación de Argentina de Grecia con el periodo de 1950-2010

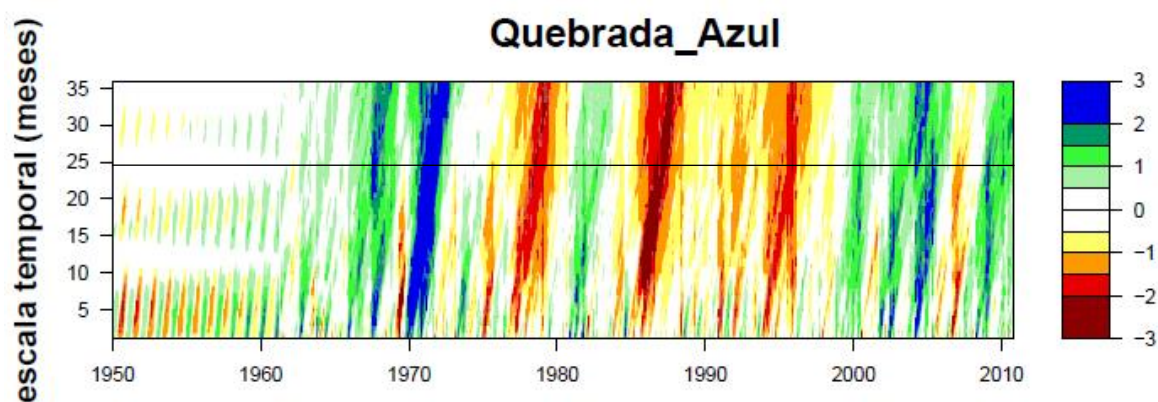


Figura 40. Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación del Quebrada Azul con el periodo de 1960-2010

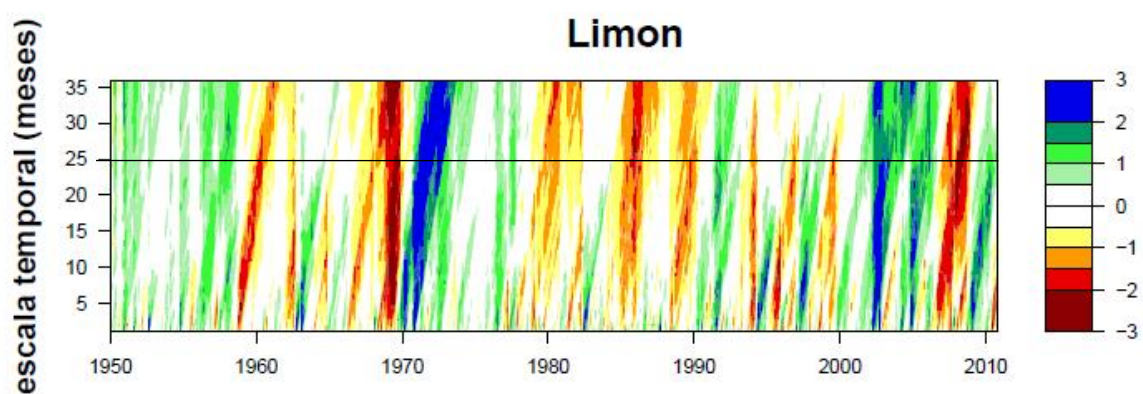


Figura 41. Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación de Limón con el periodo de 1950-2010

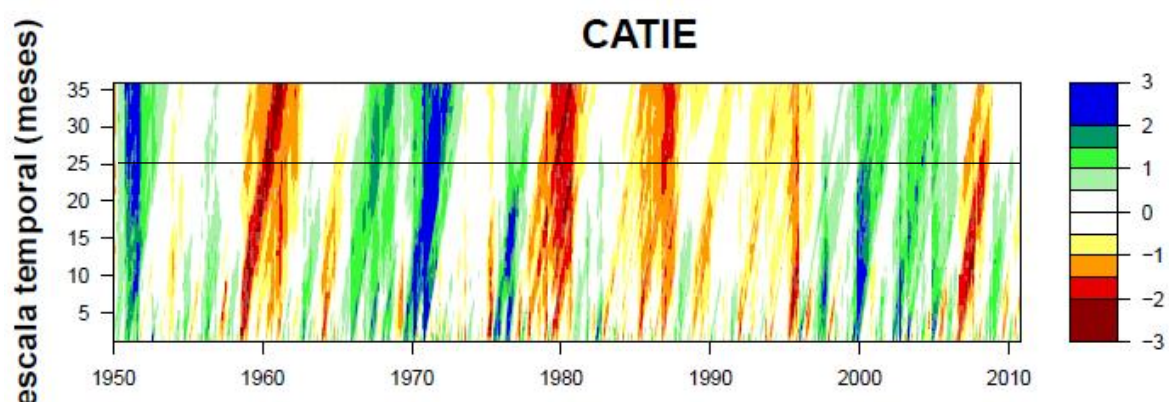


Figura 42. *Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación del CATIE con el periodo de 1950-2010*

Por su parte, en las estaciones de la Vertiente del Pacífico: Llano Grande de Liberia (Figura 43), Pocares (Figura 44) y Coto 47 (Figura 45); se registraron los mismos escenarios secos y lluviosos entre sí, pero no muestran una relación tan clara con las estaciones anteriores, ya que aparece una alta variabilidad registrada entre los escenarios. Sin embargo, se destaca una predominancia de escenarios secos en las estaciones de Liberia y Coto 47 desde la década de los 80 hasta cerca del 2008.

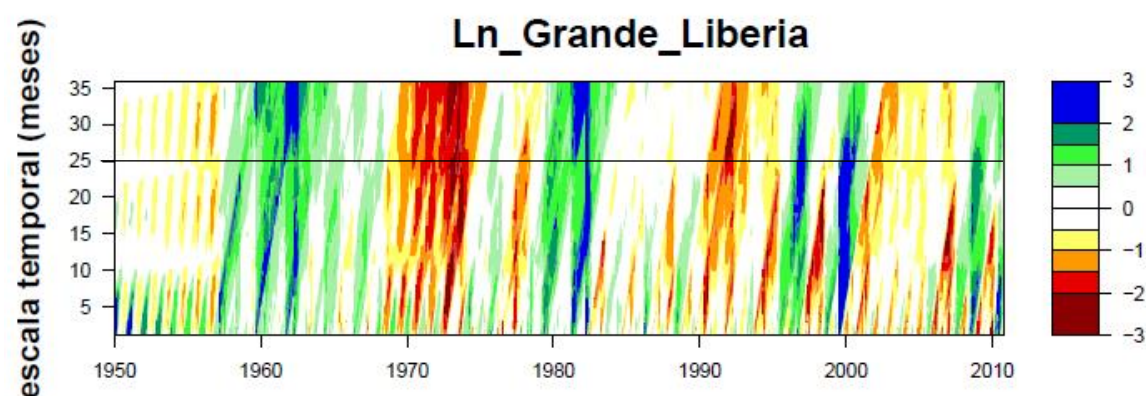


Figura 43. *Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación de Llano Grande de Liberia con el periodo de 1960-2010*

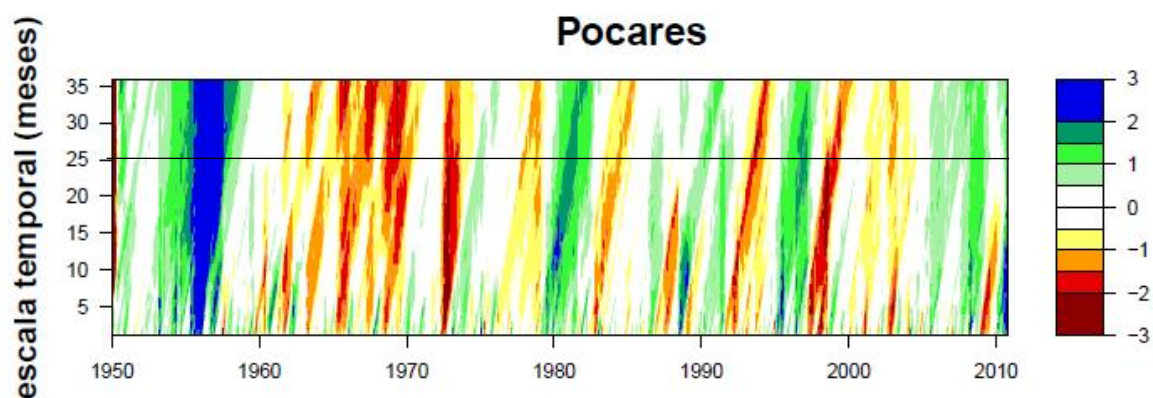


Figura 44. Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación de Pocares con el periodo de 1950-2010

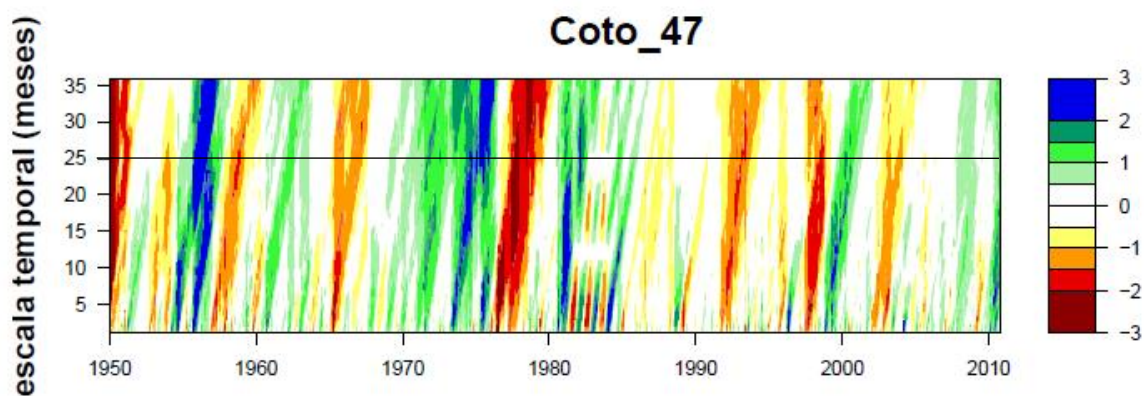


Figura 45. Figura multiescalar del SPI de 1 a 36 meses para la estación de la estación Coto 47 con el periodo de 1950-2010.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

A continuación, se detallan las conclusiones obtenidas en este estudio sobre la aplicación del SPI en estaciones meteorológicas durante el periodo de 1981-2010:

- 1- El índice ANP es una herramienta funcional en la identificación de eventos de sequía y periodos de sequía, identificándose el valor de -0,8 como el umbral de sequía se ajusta a la definición de sequía propuesta por el IMN. Sin embargo, este índice asume que las precipitaciones se comportan como una distribución de probabilidad gaussiana, la cual es susceptible a la verdadera distribución de los datos en las series.
- 2- El SPI muestra una buena habilidad en el seguimiento de la sequía en Costa Rica. Si bien el umbral de sequía teórico propuesto por el SPI de -1,0 no representó la realidad de los eventos de sequía ocurridos durante el periodo de estudio (ya que con este valor solamente obtuvo un evento de sequía); al usar el valor de SPI -0,5 se identificaron los mismos eventos de sequía y periodos de sequía que el ANP. Esto puede ser causado por la agregación espacial (de varias estaciones) y temporal (al usar SPI con escalas de tiempo largas, lo cual suaviza los eventos de SPI extremos).
- 3- La correlación entre los índices del ANP y el SPI a escalas de 6 y 12 meses, tanto a nivel nacional como regional son muy altos, haciendo que ambos índices sean comparables en la identificación de los eventos de sequía. Sin embargo, debido a la diferencia en el método del cálculo que utiliza cada uno de los índices, la intensidad de algunos de los eventos identificados difiere, siendo considerados algunos eventos de sequías por uno del índice, mientras que el otro índice lo considera como un periodo de sequía. Ejemplo de esto es el periodo de 1982-1987, donde el ANP lo califica este periodo como evento de sequía, mientras que el SPI cataloga solamente a los años de 1985-1987 como un periodo de sequía.

- 4- El fenómeno del ENOS tiene un alto impacto de las precipitaciones a escala anual. Durante los cinco años más secos de la serie de estudio, los fenómenos de El Niño estuvieron presentes, siendo las condiciones atmosféricas de este fenómeno las predominantes en estos años. Por el contrario, en los cinco años más lluviosos, los fenómenos de La Niña estuvieron presente, siendo las condiciones atmosféricas características de este fenómeno las que predominaron.
- 5- Se mostró una relación entre las oscilaciones PDO y AMO, con los periodos de sequía y lluviosos del SPI de 24 meses. La PDO tiene una mejor correlación con las estaciones, relacionando valores positivos del PDO con valores del SPI negativos y viceversa. Por su parte, la AMO si bien tiene una correlación positiva con el SPI, estadísticamente no es concluyente en que esta correlación es significativa; esto puede deberse a durante el periodo de años de estudio, solamente se presentó un ciclo completo de la AMO.
- 6- Se mostró que con la combinación de las fases AMO+ y PDO- predominan los escenarios lluviosos; mientras que la combinación AMO- y PDO+ predominaron los escenarios secos. Si bien estos resultados son acordes con trabajos anteriores, el periodo de estudio que abarca este estudio solamente toma en cuenta un ciclo de ambas oscilaciones, por lo cual este resultado no puede ser concluyente.
- 7- En general, esta herramienta también es muy útil en el seguimiento estacional de la sequía. La aplicación constante y regular de este índice podría servir como insumo para mejorar los criterios de la afectación de la sequía en diferentes cultivos; que posteriormente, podría derivar en cambios en las políticas de los seguros de cosechas.

Recomendaciones

A continuación, se presentan algunas recomendaciones obtenidas de la experiencia de realizar este trabajo de investigación, para un mejor aprovechamiento de la herramienta del SPI en el seguimiento las sequías utilizando las estaciones del IMN, basados en la experiencia obtenida en este trabajo:

- Utilizar el SPI como herramienta de seguimiento e identificación de sequías en Costa Rica, ya que una de sus ventajas es que solamente necesita datos de precipitación, y el IMN posee una amplia base de datos con registros de más de 30 años. Sin embargo, de acuerdo con la literatura, una de las desventajas del SPI es que está basado en el déficit de las precipitaciones, y no toma en cuenta el contenido de humedad en los suelos. Por lo tanto, se debería complementar con otros índices que midan para tener un análisis completo del fenómeno y el impacto real de la sequía.
- Utilizar el valor del SPI de -0,5 como umbral para la definición de sequía; ya que el valor teórico propuesto de -1,0 no se ajusta con el umbral definido por el IMN y no captura los eventos de sequía ocurridos en el país.
- Realizar un estudio de la relación entre el SPI de escala temporal de tres meses (SPI-3) con el déficit de las precipitaciones para el mismo periodo de tiempo, con el propósito de ajustar los valores umbrales de SPI-3 con la identificación de las eventos de sequía en sus primeras etapas desarrollo. Aun así, el SPI-3 sigue siendo útil utilizando la escala de umbrales propuesta en este estudio, ya que abarca la mitad de la duración de la época lluviosa, ocasionando que se presenten los primeros efectos de la falta de lluvias.
- Elaborar mapas mensuales con los valores del índice del SPI a escalas de 3, 6, y 12 meses para comprender la extensión y evolución en el tiempo de las sequías en el país.
- Revisar las últimas publicaciones realizadas por el Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica con relación con caracterización y

posibles causas de las sequías en el Corredor Seco Centroamericano. En estos estudios han utilizado como herramienta el SPI para la identificación de sequía (entre otros índices); por lo tanto, se puede aprovechar el conocimiento generado para un aprendizaje más rápido sobre el uso del SPI y un mayor entendimiento de este fenómeno en el territorio nacional.

- Realizar un estudio que relacione los diferentes umbrales de las categorías del SPI y los impactos de la sequía en cada una de las regiones climáticas. Si bien la literatura proporciona escalas de tiempo que tipifican los diferentes tipos de sequía, estas escalas de tiempo son muy generales y deben de ajustarse a la realidad de las necesidades hídricas de cada región.
- Realizar un estudio aplicando el SPI para los meses más lluviosos de la Vertiente del Caribe con el fin de identificar los escenarios de sequía meteorológica y la magnitud de éstas en la vertiente.
- Realizar un estudio de frecuencia de la ocurrencia de sequías en cada una de las regiones climáticas de Costa Rica utilizando el SPI como herramienta, relacionándolo con los diferentes factores de variabilidad climática identificados que generan sequías en el país.

Propuesta de protocolo para el uso de SPI dentro del Instituto Meteorológico Nacional

Dado que el Instituto Meteorológico Nacional posee un sistema de alerta temprana para la atención de la sequía, pero enfocado en el sector agropecuario y basado en la potencial aparición y evolución de El Niño (Retana, 2013), se propone que se inserte el SPI en la primera fase del sistema de alerta temprana, como herramienta de seguimiento del déficit de las precipitaciones a nivel nacional que pueden ocurrir por diferentes fenómenos, además de El Niño. los impactos que tiene este fenómeno.

Para esto, se propone que se utilice el SPI de la siguiente manera:

- Realizar cálculos del SPI en estaciones meteorológicas con datos de lluvias mensuales de al menos 30 años de registro; aunque de acuerdo con la literatura, se puede utilizar registros de 20 años para tener una noción de la magnitud del déficit de las precipitaciones.
- Calcular mensualmente el índice SPI a escalas de tiempo de 1, 3, 6 y 12 meses para dar seguimiento de la extensión e intensidad del fenómeno de la sequía en el país.
- El SPI de escala temporal de 1 mes (SPI-1) sirve como representación de la anomalía de la precipitación acumulada con respecto a la climatología de cada estación, además de dar seguimiento del déficit de las precipitaciones en el país. Cuando valores consecutivos del SPI-1 se registren, se inician las etapas previas del sistema de alerta temprana para sequías.
- Declarar un evento de sequía cuando el valor del SPI-3 alcance el umbral de -0,5 en las regiones de la Vertiente del Pacífico durante los meses de la época lluviosa. En las regiones de la Vertiente del Caribe puede utilizarse a lo largo del año, debido a que las lluvias son constantes en esas regiones; pero es de especial interés en el trimestre diciembre a febrero, periodo cuando se registran la mayor cantidad de lluvias debido a la dinámica invernal boreal.
- Aplicar el SPI de escala temporal de 6 meses (SPI-6) en los meses donde ocurren los máximos acumulados de precipitaciones, evitando los meses de época seca o de menores acumulados climatológicos. En el caso de las regiones de la Vertiente del Pacífico utilizarlo entre los meses de mayo a octubre. Para las regiones de la Vertiente

del Caribe, al ser las precipitaciones constantes a lo largo del año, pueden utilizarse en cualquier periodo.

- Aplicar el SPI de escala de 12 meses (SPI-12) para analizar la ocurrencia de sequía a nivel nacional.
- Complementar el diagnóstico del déficit de las precipitaciones con pronósticos climáticos de lluvia trimestral, utilizando modelos estacionales dinámicos o estadísticos, con el fin de proyectar un escenario de probabilidad de extensión o disminución de la sequía en las regiones donde se esté presentando.
- Elaborar un reporte mensual con los resultados del SPI tanto que incluya el diagnóstico, pronóstico y la comparación con otros índices de sequía propuestos por la OMM como el “Porcentaje de precipitación habitual” o “Deciles”, los cuales también son índices están basados solamente en la precipitación.

Bibliografía

ACAN-EFE. (15 de diciembre 2015). Sequía de 2014-2015 es la más intensa desde 1930 en Costa Rica. La Nación. Obtenido de http://www.nacion.com/economia/agro/Sequia-intensa-Costa-Rica_0_1530247089.html

Alfaro, E. J. (2007). Uso del análisis de correlación canónica para la predicción de la precipitación pluvial en Centroamérica. *Ingeniería y Competitividad*, 9(2), 33-48.

Amador, J. A. (1998). A climate feature of the tropical Americas: The trade wind easterly jet. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 5(2): 91-102.

Amador, J. A. (2008). The intra-Americas sea low-level jet. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146(1), 153-188.

Amador, J. A., Rivera, E. R., Durán-Quesada, A. M., Mora, G., Sáenz, F., Calderón, B., y Mora, N. (2016). The easternmost tropical Pacific. Part I: A climate review. *Rev. Biol. Trop*, 64(1), S1-S22.

Amador, J. A., Durán-Quesada, A. M., Rivera, E. R., Mora, G., Sáenz, F., Calderón, B., y Mora, N. (2016). The easternmost tropical Pacific. Part II: Seasonal and intraseasonal modes of atmospheric variability. *Rev. Biol. Trop*, 64(Supplement 1), S23-S57.

Barrantes, A. (22 de marzo 2014). Sequía baja las fuentes de agua en la GAM a menos de la mitad. La Nación. Obtenido de <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/sequia-baja-las-fuentes-de-agua-en-la-gam-a-menos-de-la-mitad/TF5TXWILJREV7OIO3MOT2JG5SY/story/>

Bazrafshan, J., Hejabi, S., & Rahimi, J. (2014). Drought monitoring using the multivariate standardized precipitation index (MSPI). *Water resources management*, 28(4), 1045-1060.

Bonilla, A. (2014). Patrones de sequía en Centroamérica. GWP Centroamérica, Cooperación Suiza, y el Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH).

Cordero, M. (15 de marzo 2016). Prospección de aguas: La gran apuesta para sequía en Guanacaste. Semanario Universidad. Obtenido de <https://semanariouniversidad.com/pais/prospeccion-aguas-la-gran-apuesta-sequia-guanacaste/>

Ebisuzaki, W. (1997). A method to estimate the statistical significance of a correlation when the data are serially correlated. *Journal of Climate*, 10(9), 2147-2153.

Edwards, D. C. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales (No. AFIT-97-051). AIR FORCE INST OF TECH WRIGHT-PATTERSON AFB OH.

Enfield, D.B., Mestas-Nunez, A.M. and Trimble, P.J., 2001. The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relationship to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*, 28, 2077–2080.

Fallas López, B.: Predicción estacional de los campos de precipitación y temperatura en Centroamérica, usando herramientas estadísticas, Tesis de Licenciatura en Meteorología, Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, 50–63, 2009.

Fallas López, B., & Alfaro Martínez, E. J. (2012). Uso de herramientas estadísticas para la predicción estacional del campo de precipitación en América Central como apoyo a los Foros Climáticos Regionales.

Global Water Partnership Centroamérica (2014). Sequía en Centroamérica. Hoja informativa

Global Water Partnership Centroamérica (2016). Análisis socioeconómico del impacto sectorial de la sequía de 2014 en Centroamérica. Programa Agua, Clima y Desarrollo (PACyD).

Gobierno de Costa Rica. (2014). Estado de emergencia la situación generada por la sequía - Fenómeno del Niño - ENOS. La Gaceta, 2-3.

de Recursos Hidráulicos, C. R. (2008). El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica. San José, Costa Rica: MINAET-IMN-PNUD-CRRH.

Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N., y Widhalm, M. (2011). The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4), 485-488.

Hidalgo, H., Alfaro, E. y Quesada-Montano, B. (2017). Observed (1970–1999) climate variability in Central America using a high-resolution meteorological dataset with implication to climate change studies. *Climatic Change*. 13-28

Hidalgo, H. G., Alfaro, E. J., Amador, J. A., y Bastidas, Á. (2019). Precursors of quasi-decadal dry spells in the Central America Dry Corridor. *Climate Dynamics*, 1-16.

IPCC, 2013: Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
Kalnay, E. and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

Kalnay, E. and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471

León, H. G. H., Madriz, C. H., Martínez, E. J. A., Muñoz, Á. G., Sandí, N. P. M., Alvarado, D. A. M., y Salazar, V. H. C. (2015). Urban Waters in Costa Rica. CHALLENGES IN THE AMERICAS, 204.

Liebmann, Brant, and Catherine A. Smith, 1996: Description of a Complete (Interpolated) Outgoing Longwave Radiation Dataset. Bulletin of the American Meteorological Society, 77, 1275-1277.

Magaña, V., Amador, J. A., y Medina, S. (1999). The midsummer drought over Mexico and Central America. Journal of Climate, 12(6), 1577-1588.

Maldonado, T., Alfaro, E., Fallas-López, B., y Alvarado, L. (2013). Seasonal prediction of extreme precipitation events and frequency of rainy days over Costa Rica, Central America, using Canonical Correlation Analysis.

Mantua, N. J., y Hare, S. R. (2002). The Pacific decadal oscillation. Journal of oceanography, 58(1), 35-44.

McKee, T. B., Doesken, N. J., y Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183). Boston, MA: American Meteorological Society.

Méndez, M., y Magaña, V. (2010). Regional aspects of prolonged meteorological droughts over Mexico and Central America. Journal of Climate, 23(5), 1175-1188.

Mora I. y Amador, J.A. (2000). EL ENOS, el IOS y la corriente en chorro de bajo nivel en el oeste del Caribe. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos, 7(1): 27-39.

Méndez, M., y Magaña, V. (2010). Regional aspects of prolonged meteorological droughts over Mexico and Central America. Journal of Climate, 23(5), 1175-1188.

Naranjo, J. D., Stolz, W., (2013): El Índice Estandarizado de Precipitación y sus aplicaciones en Costa Rica. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos 12 (2): 18–27.

Organización Meteorológica Mundial (1990): Glosario de términos usados en agrometeorología. WMO/TD-No. 391.

Organización Meteorológica Mundial (1992): Vocabulario Meteorológico Internacional, Boletín N° 182

Organización Meteorológica Mundial (2006). Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros. WMO No. 1006.

Congreso Meteorológico Mundial. (16: 16 de mayo al 3 de junio, 2011: Ginebra, Suiza). Informe final abreviado con resoluciones. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial, 2011. 555p.

Organización Meteorológica Mundial y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2011): Glosario Hidrológico Internacional, OMM/UNESCO.

Organización Meteorológica Mundial (2012): Guía del usuario sobre el Índice Normalizado de Precipitación (OMM-No 1090) (M. Svoboda, M. Hayes y D. Wood), Ginebra.

Organización Meteorológica Mundial (1 de junio de 2015): Nuevo enfoque de dos niveles para las “normales climatológicas”. Obtenido de <https://public.wmo.int/es/media/news/nuevo-enfoque-de-dos-niveles-para-las-“normales-climatológicas”>

Organización Meteorológica Mundial y Asociación Mundial para el Agua (2016): Manual de indicadores e índices de sequía (M. Svoboda y B.A. Fuchs). Programa de gestión integrada de sequías, Serie 2 de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías. Ginebra.

Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought. Research Paper No. 45. Washington, DC: US Department of Commerce. Weather Bureau, 59.

Quirós Badilla, E., H. G. Hidalgo León. 2016a. Interacción de la Zona de Convergencia Intertropical del Pacífico Este con Sistemas Tropicales. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 15(2), 33-47.

Quirós Badilla, E., and H.G. Hidalgo León, 2016b: Variabilidad y conexiones climáticas de la zona de convergencia intertropical del Pacífico Este. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 15, 21-36.

Retana, J. R., Villalobos, R. (2003). Impacto social del fenómeno El Niño: Un recuento de 1977-1978. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 10 (1): 36–40

Retana, J. R. (2013). Un sistema de alerta temprana de sequías basado en el fenómeno El Niño: en ruta hacia la adaptación del sector agropecuario ante el cambio climático. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 10 (1): 3–15

Umran Komuscu, A. (1999). Using the SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey. *Drought Network News* (1994-2001), 49.

Villalobos, R. (2001). Impacto del fenómeno "El Niño" sobre la producción de arroz y frijol en dos regiones agrícolas de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 8 (1): 19–25.

Wilhite, D. A., y Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120.

Código computacional

Estos productos fueron provistos por el código de cálculo de SPI en R escrito para el Observatorio Latinoamericano de Eventos Extraordinarios (OLE2), disponible en http://www.cmc.org.ve/mediawiki/index.php?title=Herramienta_en_R_para_diagnóstico

Apéndice

Figuras

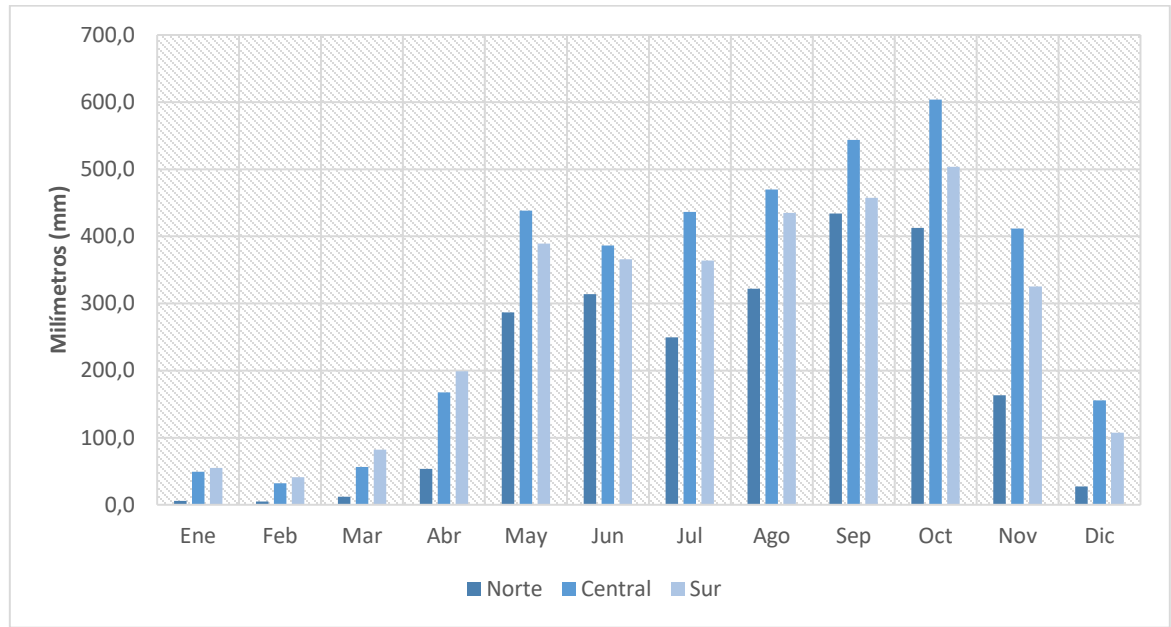


Figura A.1. Distribución anual de las precipitaciones en las regiones del Pacífico.

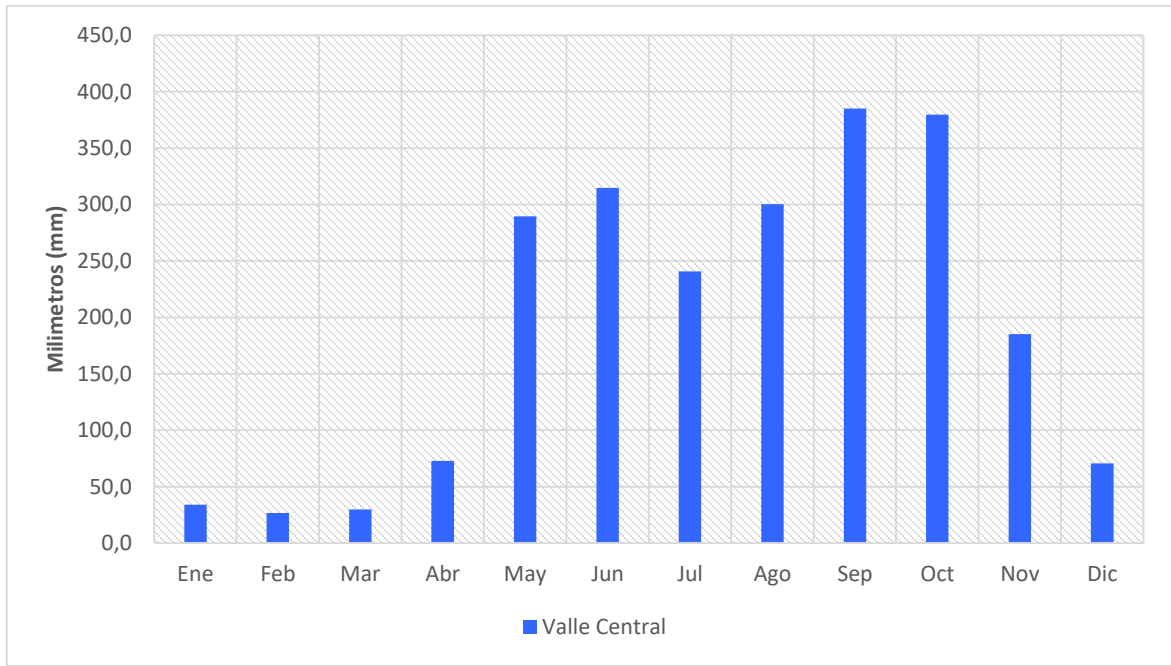


Figura A.2. Distribución anual de las precipitaciones en la región climática Valle Central.

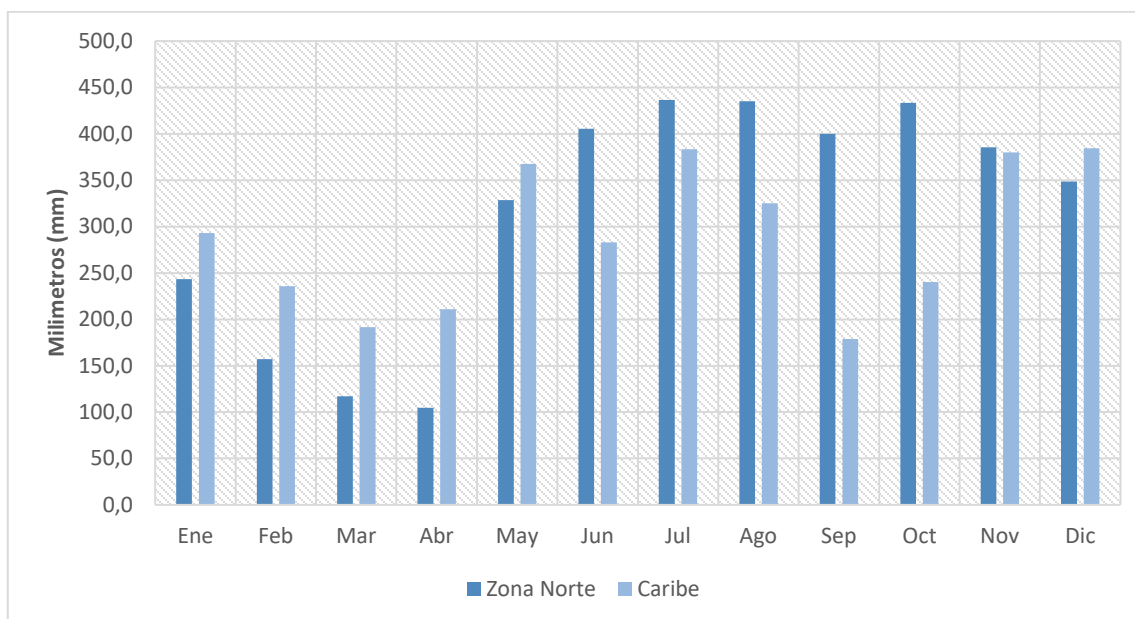


Figura A.3. Distribución anual de las precipitaciones en las regiones climáticas de la Zona Norte y Caribe.

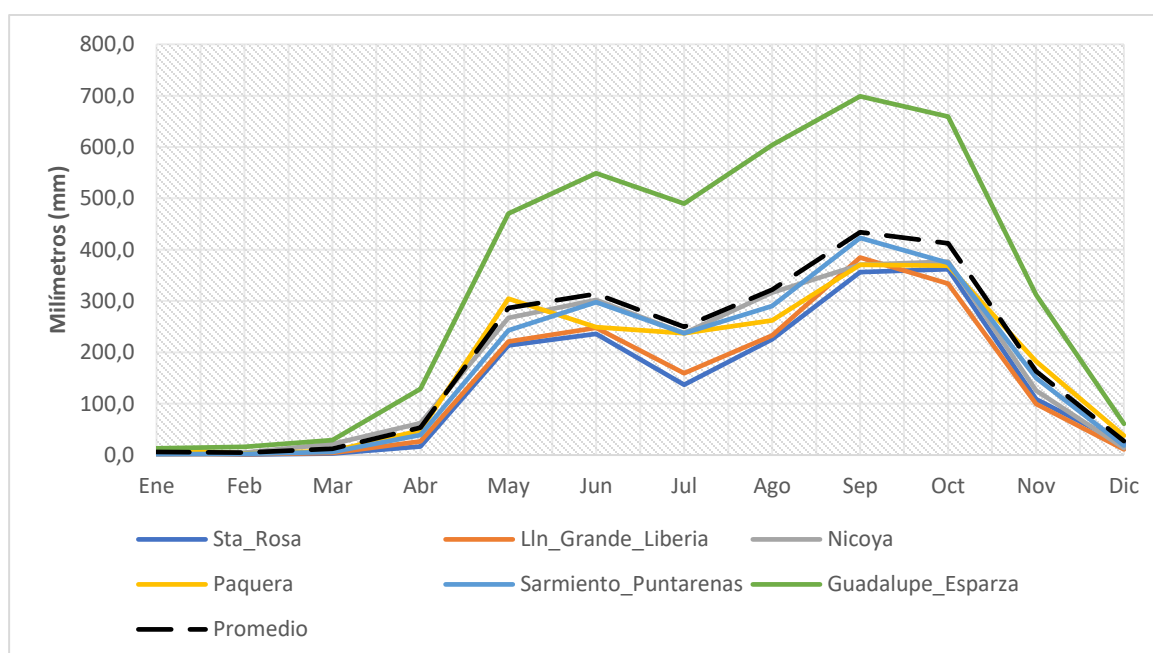


Figura A.4 Distribución anual de las precipitaciones de cada una de las estaciones en la región del Pacífico Norte.

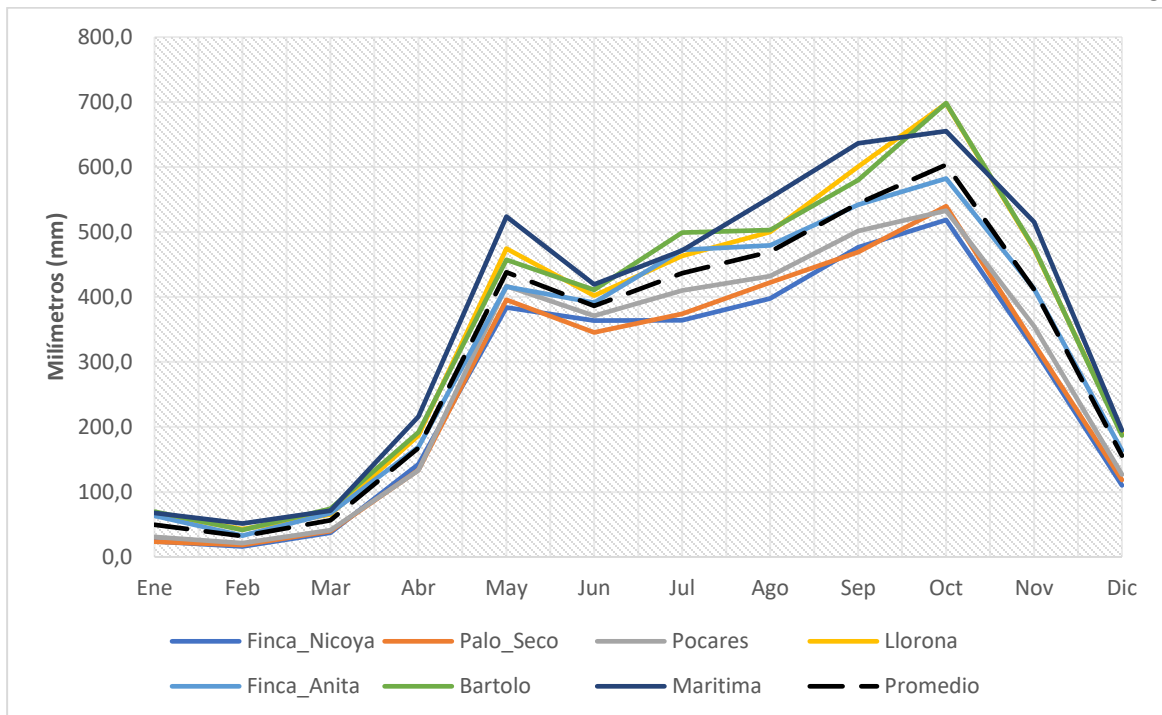


Figura A.5 Distribución anual de las precipitaciones de cada una de las estaciones en la región del Pacífico Central.

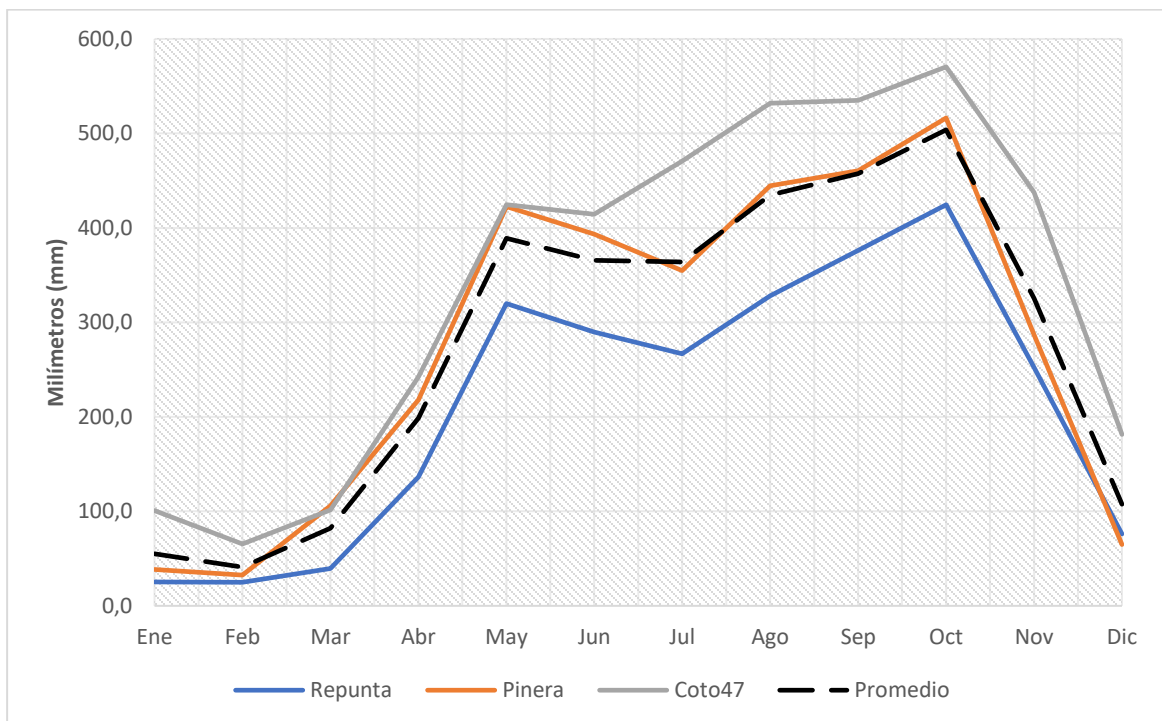


Figura A.6 Distribución anual de las precipitaciones de cada una de las estaciones en la región del Pacífico Sur.

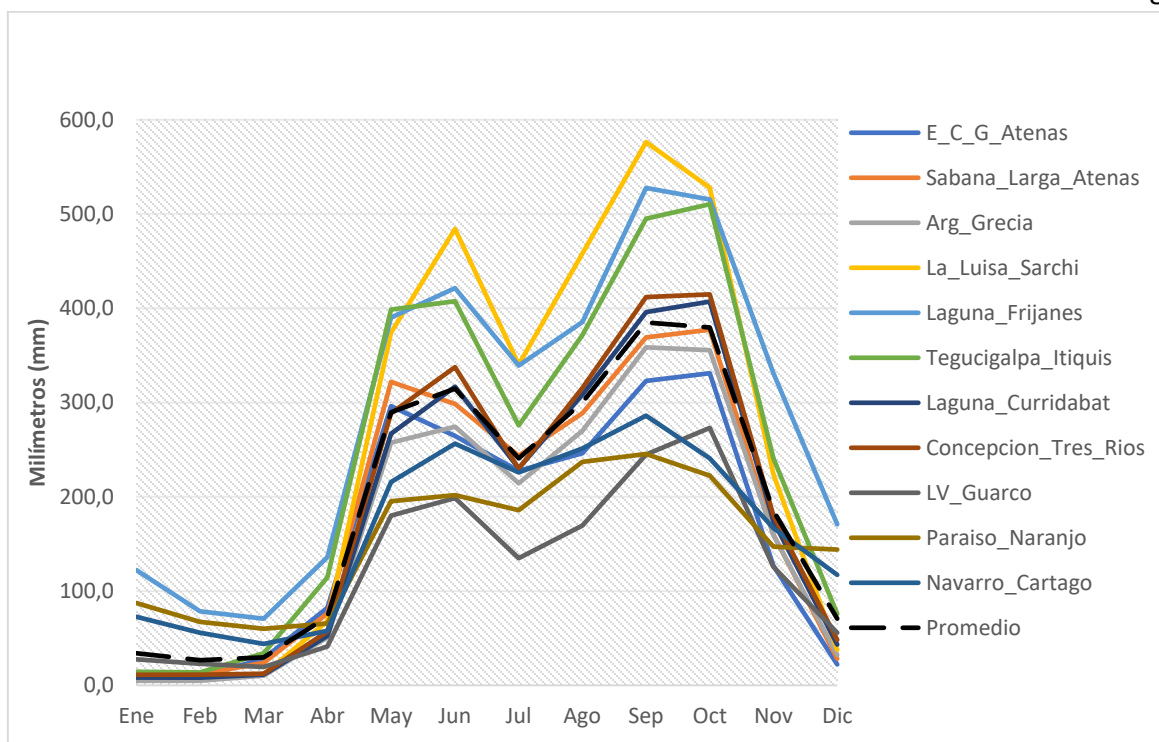


Figura A.7 Distribución anual de las precipitaciones de cada una de las estaciones en la región del Valle Central.

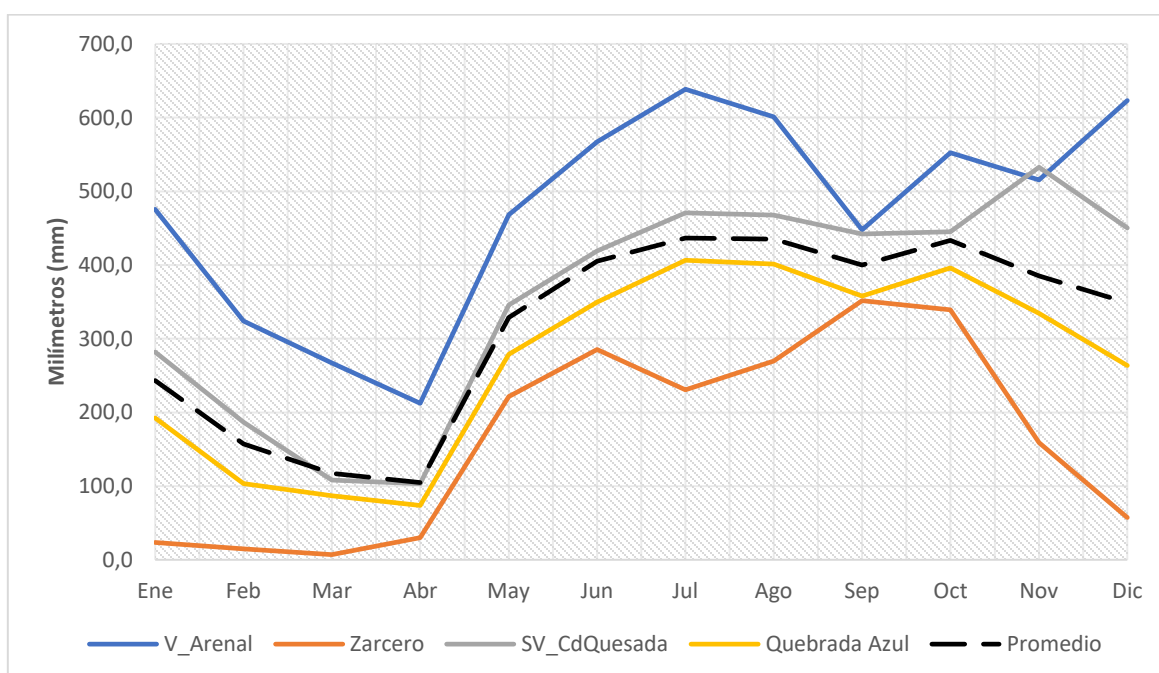


Figura A.8 Distribución anual de las precipitaciones de cada una de las estaciones en la región del Zona Norte.

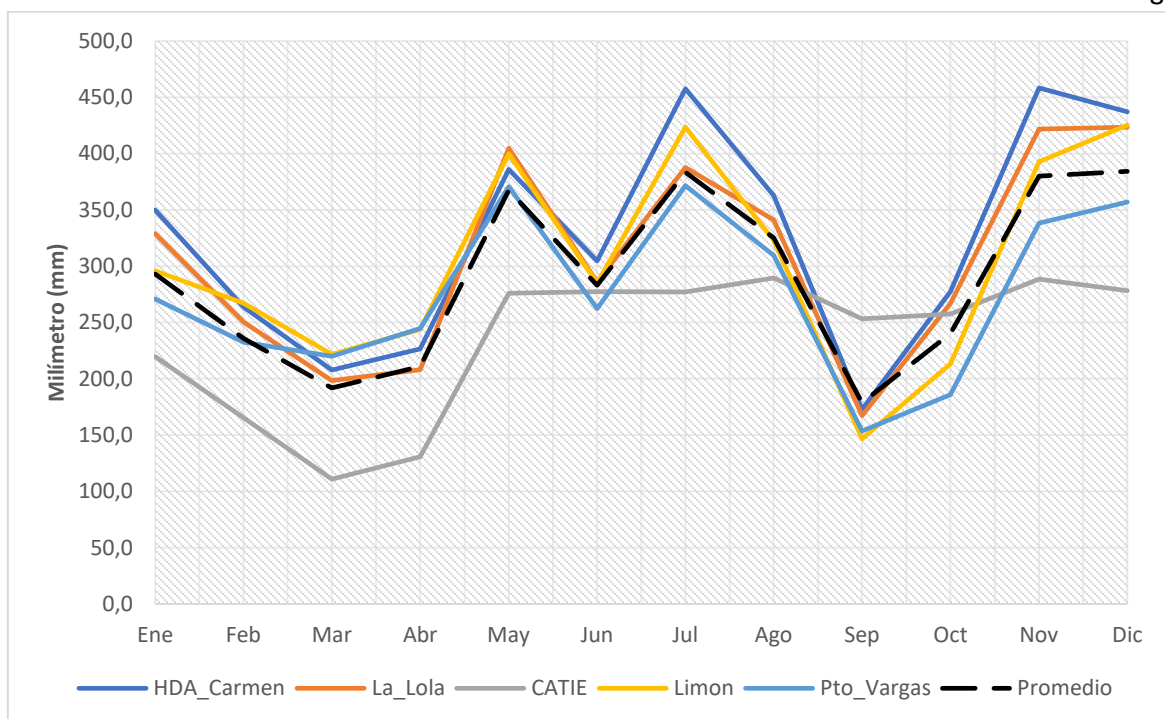


Figura A.9 Distribución anual de las precipitaciones de cada una de las estaciones en las regiones del Caribe.

Condiciones atmosféricas en las épocas lluvias con los menores acumulados (1983-1987-1992-2001-2009)

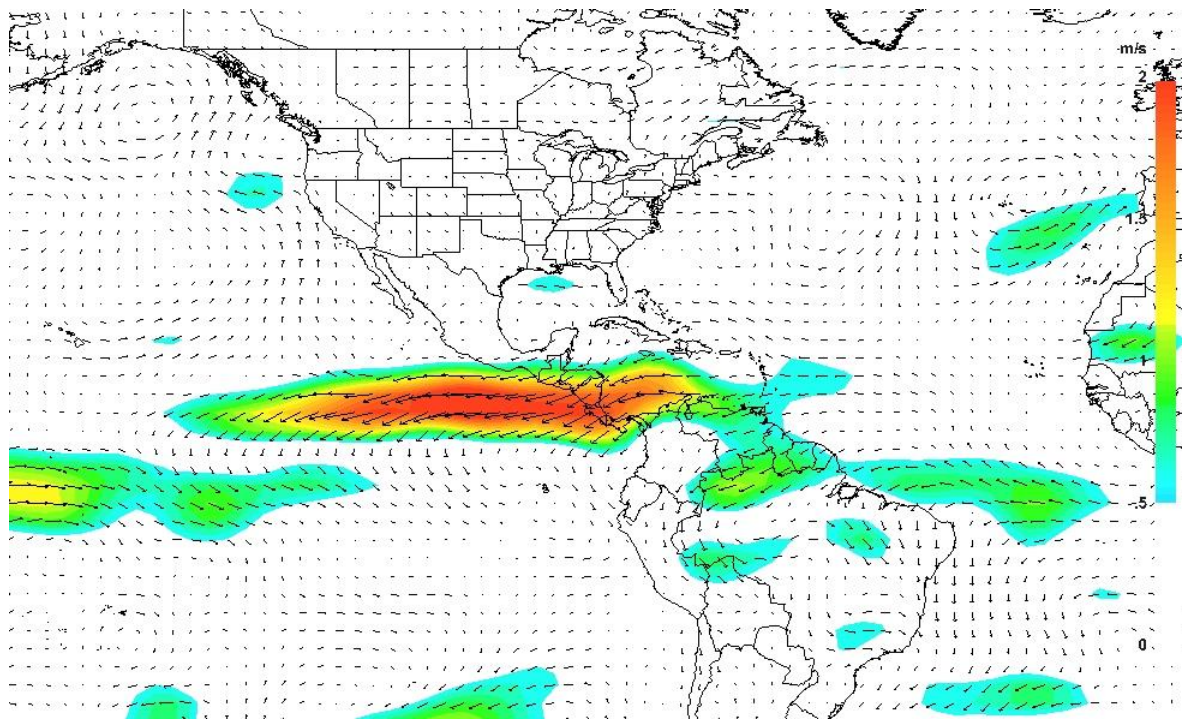


Figura A. 10. Anomalía promedio del viento en el nivel atmosférico de 925 hPa en las épocas lluviosas con menores acumulados (1983-1987-1992-2001-2009). Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

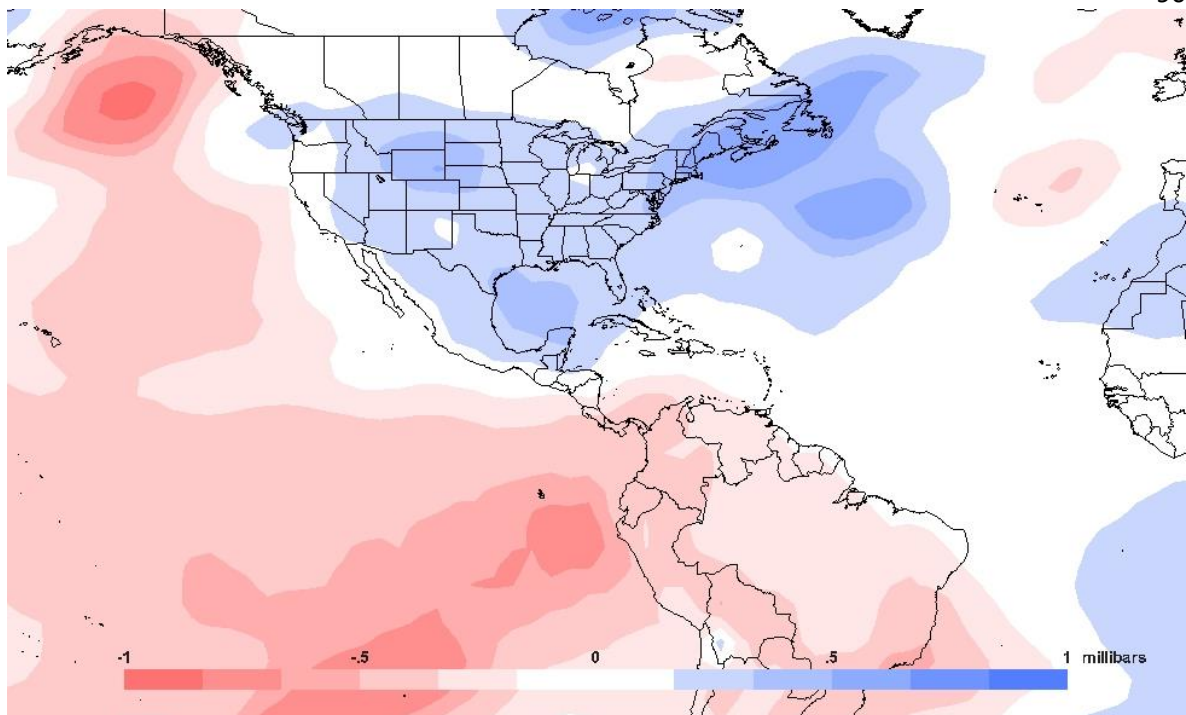


Figura A. 11. Anomalía promedio de la presión atmosférica al nivel del mar en las épocas lluviosas con menores acumulados (1983-1987-1992-2001-2009). Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

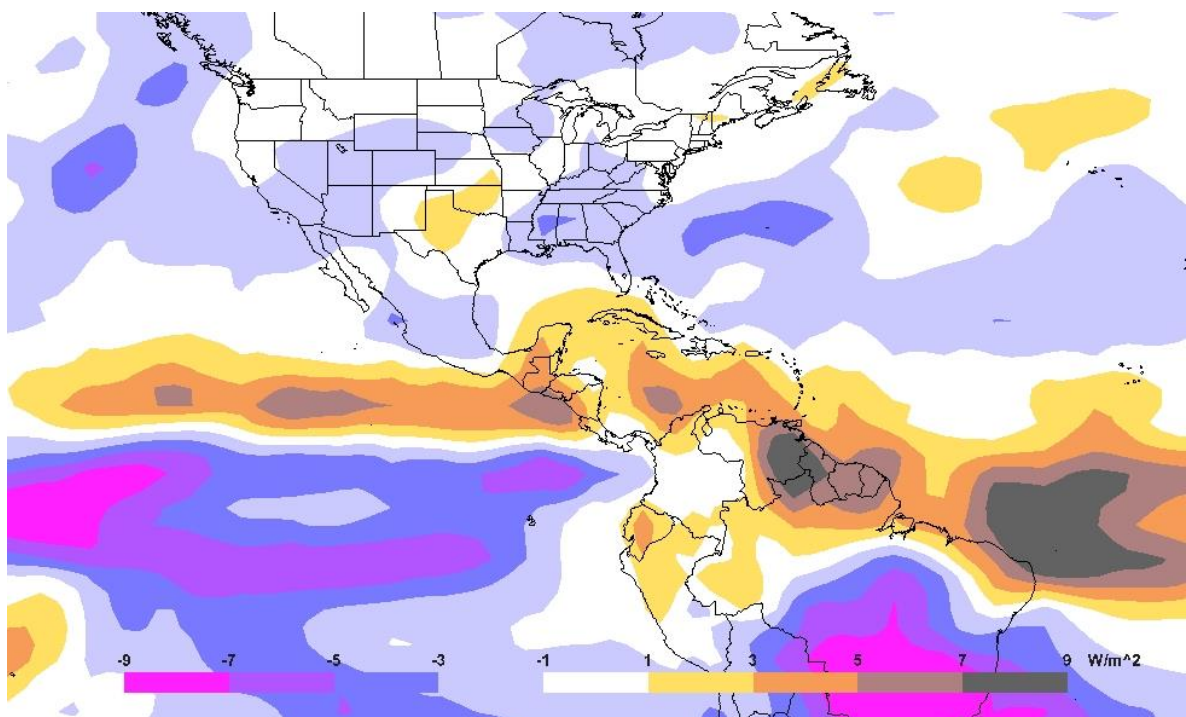


Figura A. 12. Anomalía promedio de radiación de onda larga en las épocas lluviosas con menores acumulados (1983-1987-1992-2001-2009). Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

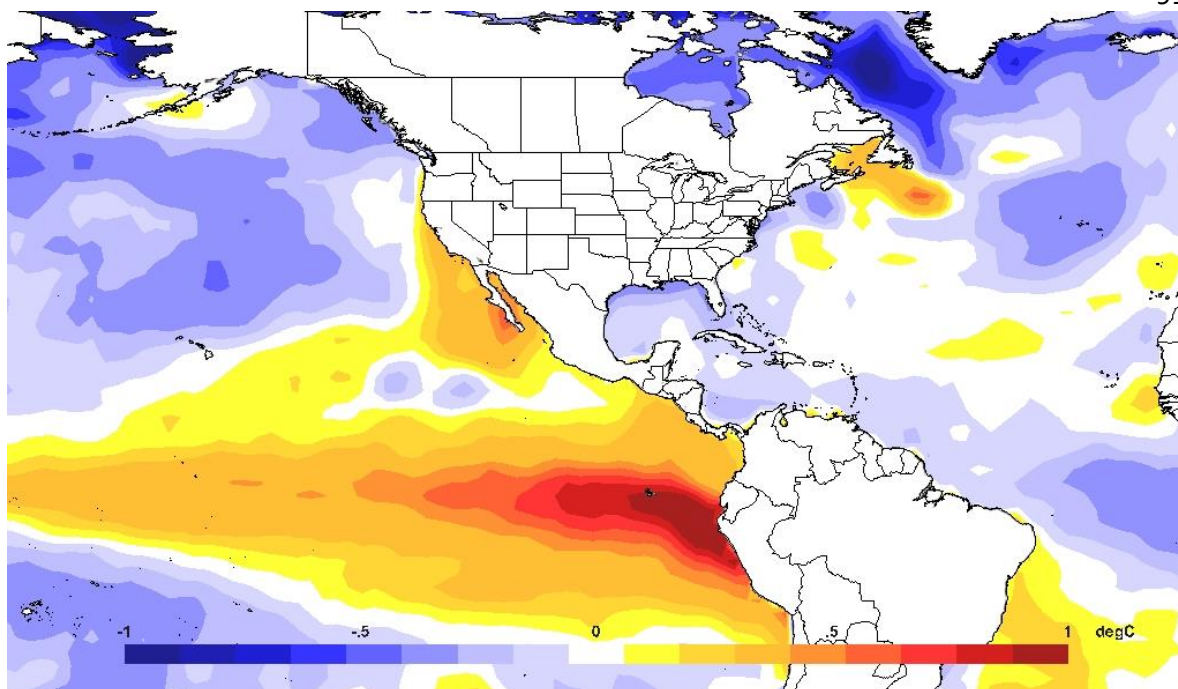


Figura A. 13. Anomalía promedio de: a) radiación de onda larga y b) la temperatura superficial del mar en las épocas lluviosas con menores acumulados (1983-1987-1992-2001-2009). Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

Condiciones atmosféricas en las épocas lluvias con los mayores acumulados (1988-1996-2007-2008-2010)

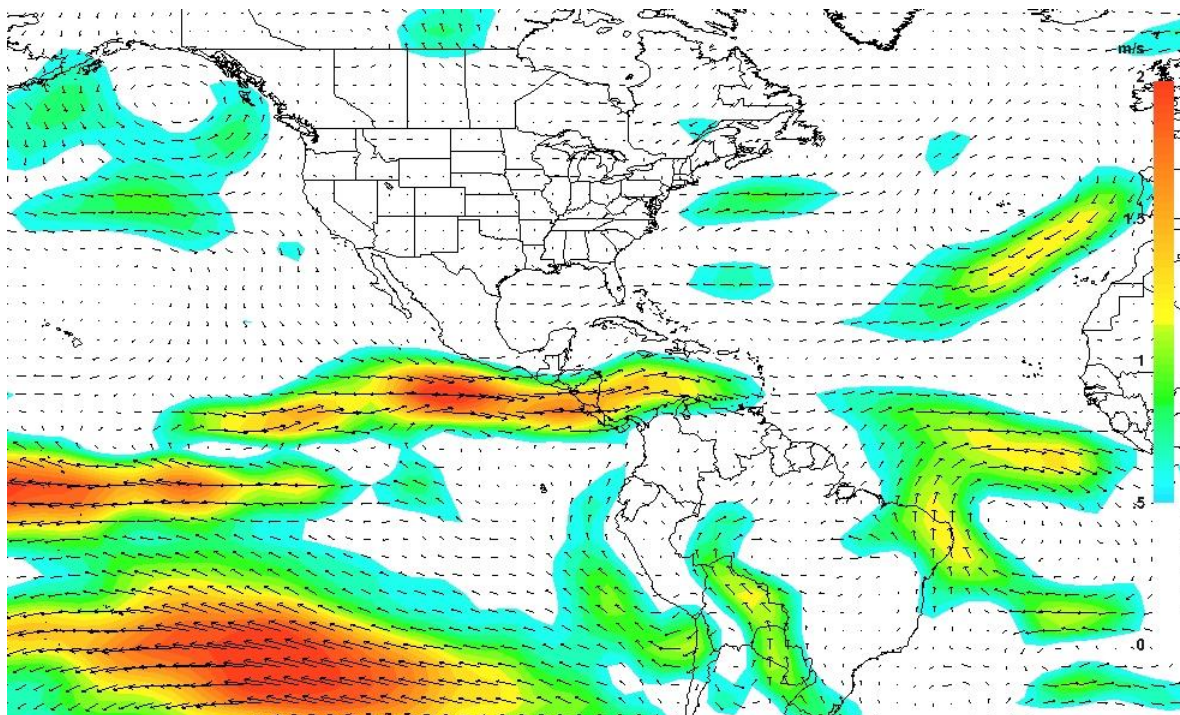


Figura A. 14. Anomalía promedio del viento en el nivel atmosférico de 925 hPa en las épocas lluviosas con mayores acumulados (1988-1996-2007-2008-2010). Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

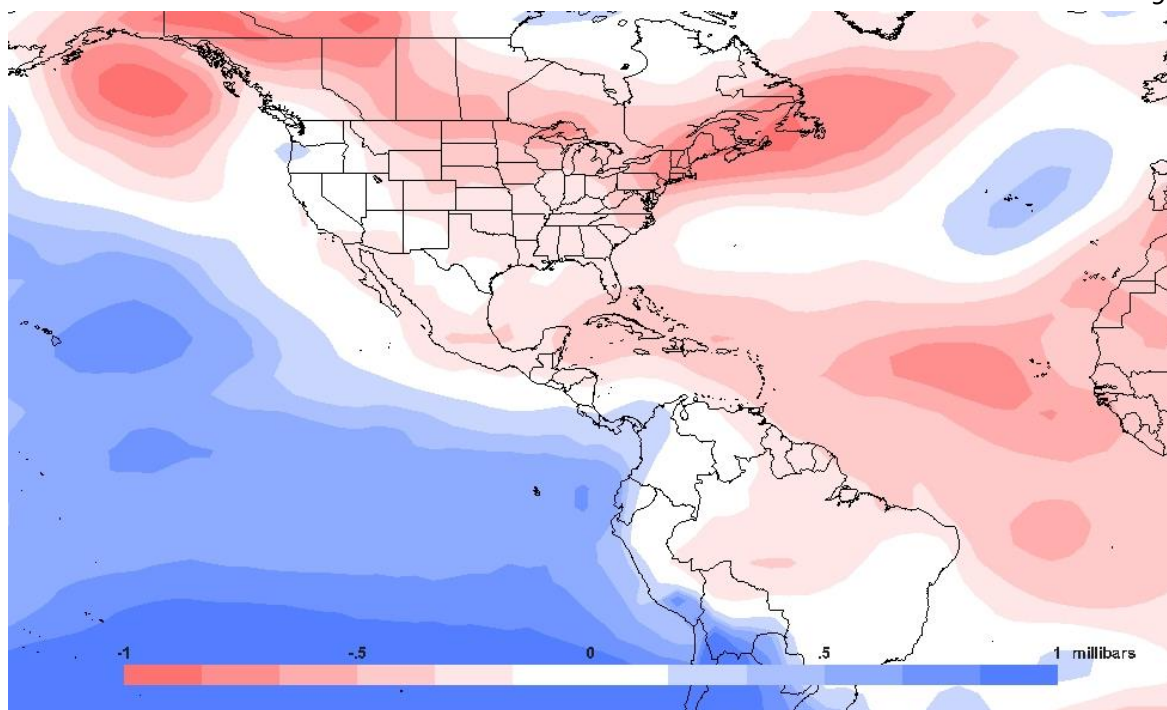


Figura A. 15. Anomalía promedio de la presión atmosférica al nivel del mar en las épocas lluviosas con mayores acumulados (1988-1996-2007-2008-2010). Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

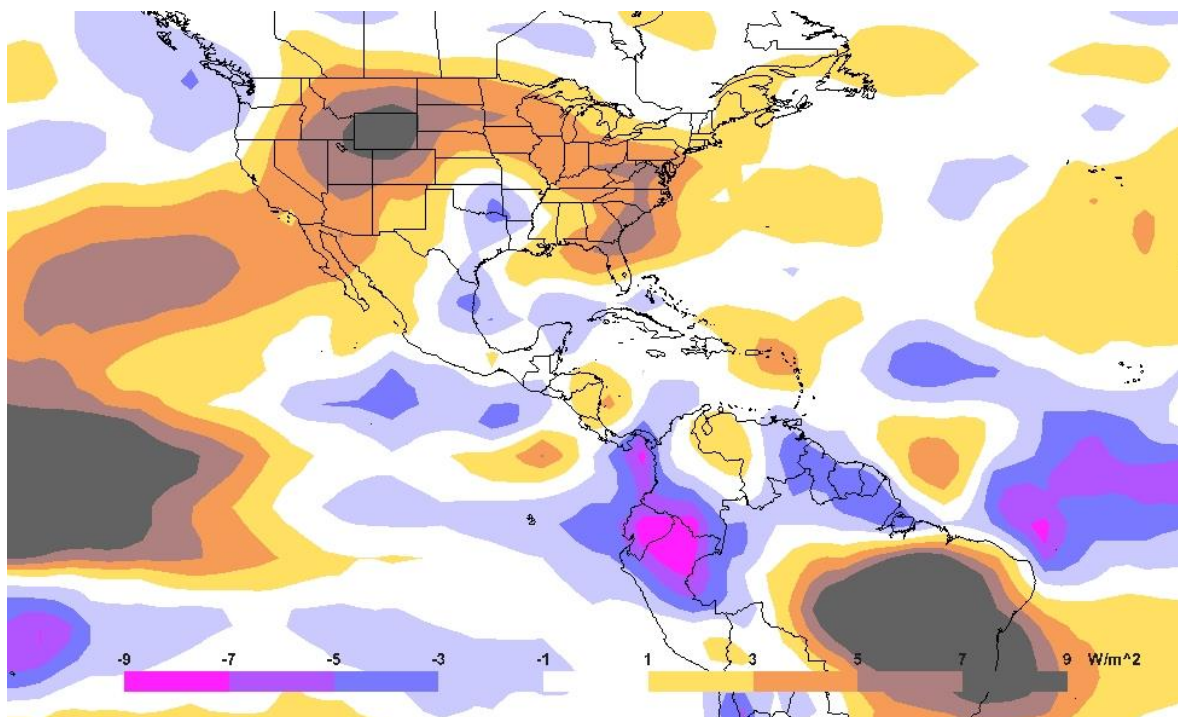


Figura A. 16. Anomalía promedio de radiación de onda larga en las épocas lluviosas con mayores acumulados (1988-1996-2007-2008-2010). Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

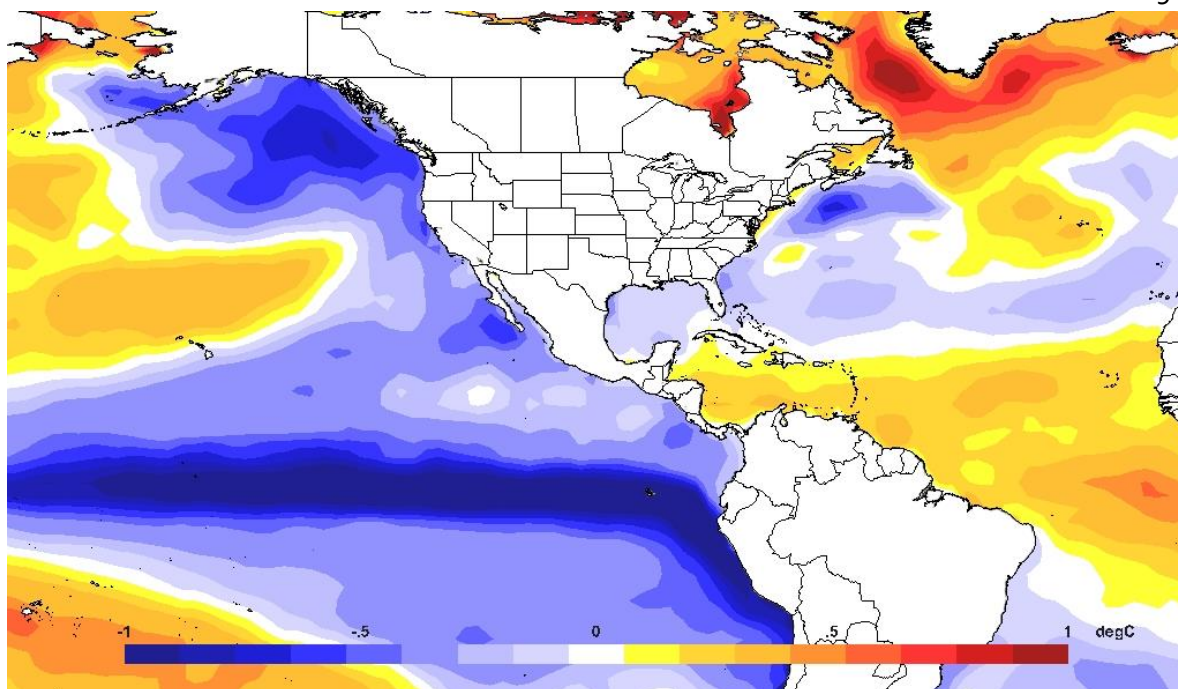


Figura A. 17. Anomalía promedio de: a) radiación de onda larga y b) la temperatura superficial del mar, en las épocas lluviosas con mayores acumulados (1988-1996-2007-2008-2010). Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Division.

Tablas

Tabla A.1.

Estadístico de los acumulados de las precipitaciones anuales durante el periodo de 1981-2010

Precipitación anual	
Media	2963,7
Error típico	77,4
Mediana	2844,3
Moda	#N/A
Desviación estándar	423,8
Varianza de la muestra	179644,7
Curtosis	1,6
Coefficiente de asimetría	1,1
Rango	1836,3
Mínimo	2437,5
Máximo	4273,8
Suma	88910,6
Cuenta	30

Tabla A.2.

Estadístico de los acumulados de las precipitaciones anuales para cada vertiente durante el periodo de 1981-2010

	Pacífico	Caribe
Media	2756,2	3588,2
Error típico	91,2	87,5
Mediana	2633,1	3573,4
Moda	#N/A	#N/A
Desviación estándar	499,7	479,1
Varianza de la muestra	249705,6	229519,2
Curtosis	1,3	-0,6
Coefficiente de asimetría	1,1	-0,1
Rango	2081,8	1901,0
Mínimo	2205,6	2590,1
Máximo	4287,4	4491,1
Suma	82684,6	107646,3
Cuenta	30	30

Tabla A.3.

Ranquin de los acumulados de precipitación promedio a nivel nacional durante el periodo 1981-2010

Posición	Año	Acumulado
1	2010	4273,8
2	2008	3642,4
3	1996	3580,9
4	1988	3368,9
5	2007	3368,5
6	2005	3336,2
7	1999	3266,4
8	2003	3251,5
9	1981	3216,9
10	1998	3134,2
11	2004	3124,0
12	1995	3079,8
13	1990	3002,4
14	2006	2887,8
15	2002	2872,2
16	1984	2816,4
17	2000	2812,0
18	1997	2775,2
19	2009	2764,8
20	2001	2703,5
21	1993	2678,0
22	1994	2663,4
23	1991	2651,1
24	1982	2636,2
25	1989	2586,2
26	1985	2513,6
27	1983	2496,4
28	1986	2495,8
29	1987	2474,7
30	1992	2437,5

Tabla A.4.*Ranquin de los acumulados de precipitación promedio por vertiente durante el periodo 1981-2010*

Posición	Vertiente del Pacífico		Vertiente del Caribe	
	Año	Acumulado	Año	Acumulado
1	2010	4287,4	2002	4491,1
2	2008	3510,9	2004	4323,5
3	1996	3416,2	2010	4232,9
4	1988	3351,7	1997	4207,4
5	2007	3254,6	2009	4092,2
6	2005	3187,0	1996	4074,8
7	1995	3156,0	2008	4036,8
8	1999	3103,9	2001	3997,7
9	2003	3071,7	2000	3886,1
10	1998	3053,2	1981	3818,4
11	1981	3008,6	2003	3790,6
12	1990	2815,5	1999	3754,0
13	2006	2747,9	2005	3750,7
14	2004	2724,2	2007	3710,5
15	1984	2640,4	1991	3583,6
16	1993	2625,8	1990	3563,2
17	1985	2488,2	1982	3460,7
18	2000	2454,0	1994	3425,9
19	1994	2409,2	1988	3420,5
20	1989	2399,7	1998	3377,1
21	1991	2374,8	1984	3344,5
22	1982	2350,8	2006	3307,4
23	2002	2332,5	1987	3282,1
24	2009	2322,4	1989	3215,5
25	1983	2300,3	1986	3106,2
26	1997	2297,8	1983	3062,7
27	1986	2292,3	1992	3060,4
28	2001	2272,1	1995	2851,1
29	1992	2229,9	1993	2828,8
30	1987	2205,6	1985	2590,1

Tabla A.5.

Tabla con los deciles anuales de la serie promedio a nivel nacional durante el periodo 1981-2010

Cuartiles	Deciles	Acumulado (mm)
Muy bajo lo normal	10	2496,3
	20	2626,2
Bajo lo normal	30	2673,6
	40	2771,0
Normal	50	2844,3
	60	3033,3
Sobre lo normal	70	3159,0
	80	3280,4
Muy sobre lo normal	90	3390,1
	100	4255,5

Tabla A.6.*Comparación en el ANP promedio anual y el SPI-12 promedio durante el periodo 1981-2010*

Años	ANP	SPI
1981	0,6	1,1
1982	-0,8	0,2
1983	-1,1	0,0
1984	-0,3	0,4
1985	-1,1	-0,3
1986	-1,1	-0,3
1987	-1,2	-0,4
1988	1,0	1,0
1989	-0,9	-0,3
1990	0,1	0,4
1991	-0,7	-0,4
1992	-1,2	-0,7
1993	-0,7	-0,4
1994	-0,7	-0,5
1995	0,3	0,2
1996	1,5	1,0
1997	-0,4	-0,4
1998	0,4	0,2
1999	0,7	0,5
2000	-0,4	-0,4
2001	-0,6	-0,7
2002	-0,2	-0,4
2003	0,7	0,2
2004	0,4	-0,2
2005	0,9	0,0
2006	-0,2	-0,7
2007	1,0	0,2
2008	1,6	0,6
2009	-0,5	-1,2
2010	3,1	1,3

Tabla A.7.*Índice promedio del SPI-12 en las vertientes del Pacífico y Caribe durante el periodo 1981-2010*

Año	Pacífico	Caribe
1981	1,0	1,3
1982	0,1	0,5
1983	0,1	-0,2
1984	0,5	0,3
1985	0,1	-1,3
1986	-0,3	-0,4
1987	-0,5	0,0
1988	1,2	0,2
1989	-0,2	-0,4
1990	0,4	0,4
1991	-0,6	0,0
1992	-0,8	-0,5
1993	-0,3	-0,8
1994	-0,6	-0,3
1995	0,6	-1,0
1996	1,0	0,9
1997	-0,8	1,0
1998	0,4	-0,6
1999	0,6	0,2
2000	-0,6	0,2
2001	-1,0	0,3
2002	-1,0	1,2
2003	0,3	-0,2
2004	-0,5	0,8
2005	0,0	-0,3
2006	-0,5	-1,2
2007	0,4	-0,6
2008	0,8	0,1
2009	-1,5	-0,2
2010	1,7	0,3

Tabla A.8.

Número de estaciones y el respectivo porcentaje dentro de cada uno de los escenarios utilizando el SPI-12

Año	Seco	Porcentaje	Lluvioso	Porcentaje	Normal	Porcentaje
1981	0	0,00	31	86,11	5	13,89
1982	6	16,67	11	30,56	19	52,78
1983	6	16,67	6	16,67	24	66,67
1984	4	11,11	17	47,22	15	41,67
1985	13	36,11	9	25,00	14	38,89
1986	16	44,44	3	8,33	17	47,22
1987	17	47,22	2	5,56	17	47,22
1988	3	8,33	27	75,00	6	16,67
1989	11	30,56	3	8,33	22	61,11
1990	4	11,11	18	50,00	14	38,89
1991	17	47,22	2	5,56	17	47,22
1992	26	72,22	0	0,00	10	27,78
1993	15	41,67	2	5,56	19	52,78
1994	22	61,11	3	8,33	11	30,56
1995	9	25,00	17	47,22	10	27,78
1996	1	2,78	29	80,56	6	16,67
1997	18	50,00	8	22,22	10	27,78
1998	8	22,22	11	30,56	17	47,22
1999	6	16,67	20	55,56	10	27,78
2000	21	58,33	4	11,11	11	30,56
2001	23	63,89	4	11,11	9	25,00
2002	20	55,56	8	22,22	8	22,22
2003	5	13,89	11	30,56	20	55,56
2004	14	38,89	8	22,22	14	38,89
2005	8	22,22	4	11,11	24	66,67
2006	24	66,67	2	5,56	10	27,78
2007	8	22,22	11	30,56	17	47,22
2008	3	8,33	20	55,56	13	36,11
2009	31	86,11	4	11,11	1	2,78
2010	1	2,78	29	80,56	6	16,67

Tabla A.9.

Número de estaciones y el respectivo porcentaje dentro de cada uno de los escenarios utilizando el SPI-6 para el periodo de la época lluviosa

Año	Seco	Porcentaje	Lluvioso	Porcentaje	Normal	Porcentaje
1981	5	13,9	22	61,1	9	25,0
1982	4	11,1	13	36,1	19	52,8
1983	11	30,6	5	13,9	20	55,6
1984	4	11,1	13	36,1	19	52,8
1985	9	25,0	9	25,0	18	50,0
1986	16	44,4	5	13,9	15	41,7
1987	14	38,9	3	8,3	19	52,8
1988	3	8,3	25	69,4	8	22,2
1989	8	22,2	3	8,3	25	69,4
1990	6	16,7	19	52,8	11	30,6
1991	15	41,7	6	16,7	15	41,7
1992	20	55,6	1	2,8	15	41,7
1993	11	30,6	4	11,1	21	58,3
1994	24	66,7	4	11,1	8	22,2
1995	8	22,2	22	61,1	6	16,7
1996	4	11,1	23	63,9	9	25,0
1997	25	69,4	7	19,4	4	11,1
1998	6	16,7	11	30,6	19	52,8
1999	7	19,4	16	44,4	13	36,1
2000	17	47,2	2	5,6	17	47,2
2001	28	77,8	2	5,6	6	16,7
2002	16	44,4	10	27,8	10	27,8
2003	2	5,6	12	33,3	22	61,1
2004	12	33,3	11	30,6	13	36,1
2005	13	36,1	11	30,6	12	33,3
2006	20	55,6	0	0,0	16	44,4
2007	6	16,7	12	33,3	18	50,0
2008	6	16,7	25	69,4	5	13,9
2009	33	91,7	2	5,6	1	2,8
2010	7	19,4	26	72,2	3	8,3

Tabla A.10.

Valores anuales del índice de anomalía normalizado de precipitación anual (ANP-12) para las regiones climáticas del país.

Vertiente Región	Pacífico				Caribe	
	Norte	Central	Sur	Valle Central	Zona Norte	Caribe
1981	1,0	0,3	0,5	0,4	1,3	-0,2
1982	-0,3	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1
1983	-0,2	-1,5	-0,5	-0,4	-1,0	-0,9
1984	-0,4	-0,4	-0,2	0,1	-0,2	-0,6
1985	-0,2	0,0	-1,8	-1,0	-2,0	-1,8
1986	-0,2	-0,5	-1,5	-1,5	-1,5	-0,5
1987	-0,8	-1,5	-0,1	-0,8	-1,3	-0,1
1988	1,5	1,0	1,8	0,8	0,2	-0,7
1989	0,1	-0,7	-0,4	-1,2	-0,5	-0,9
1990	-0,6	0,6	0,7	-0,3	-0,3	0,1
1991	-1,0	-0,3	-0,8	-1,0	-0,6	0,5
1992	-1,2	-1,0	-1,1	-0,8	-0,7	-1,2
1993	-0,3	-0,2	0,4	-0,6	-1,3	-1,5
1994	-0,8	-0,3	-0,6	-0,9	-1,3	0,5
1995	1,0	0,8	0,1	0,7	-0,7	-1,9
1996	1,3	1,4	1,8	0,8	1,0	0,8
1997	-1,5	-0,9	-1,0	-0,3	0,1	2,0
1998	0,6	0,3	0,9	0,7	-0,2	-0,5
1999	0,6	0,3	1,1	0,9	0,5	0,2
2000	-1,0	-0,6	0,2	-0,5	0,6	0,5
2001	-0,8	-0,8	-0,3	-1,2	0,7	0,8
2002	-0,9	-0,9	-1,1	-0,4	1,1	2,2
2003	0,3	0,6	0,2	0,9	0,9	0,0
2004	-0,7	0,4	-0,7	0,0	1,5	1,3
2005	1,5	0,7	-0,1	0,6	0,1	0,4
2006	-0,6	-0,1	0,5	0,3	-0,6	-0,5
2007	1,2	0,5	0,2	1,4	0,8	-0,2
2008	1,3	1,1	0,5	2,1	1,7	0,2
2009	-1,2	-0,6	-0,7	-0,9	0,4	1,3
2010	2,2	3,4	2,6	2,6	1,6	0,9

Tabla A.11.

Valores anuales del índice normalizado de precipitación anual (SPI-12) para las regiones climáticas del país.

Vertiente Región	Pacífico				Caribe	
	Norte	Central	Sur	Valle Central	Zona Norte	Caribe
1981	1,1	1,1	1,0	1,0	2,0	0,7
1982	-0,2	-0,2	0,0	0,4	0,4	0,6
1983	0,2	-0,4	0,3	0,4	-0,1	-0,3
1984	-0,1	0,3	0,9	0,7	0,7	0,0
1985	0,1	0,7	-0,4	-0,3	-1,1	-1,4
1986	0,1	0,2	0,1	-0,9	-1,0	0,0
1987	-0,5	-1,1	-0,3	-0,2	-0,4	0,3
1988	1,1	1,4	1,6	1,0	0,8	-0,3
1989	0,3	-0,4	-0,6	-0,3	0,0	-0,7
1990	-0,3	1,0	0,4	0,3	-0,2	0,9
1991	-0,6	0,1	-0,9	-0,8	-0,4	0,3
1992	-0,9	-0,9	-1,3	-0,6	-0,4	-0,6
1993	-0,4	-0,1	0,2	-0,4	-0,6	-0,9
1994	-0,6	-0,2	-0,8	-0,9	-1,3	0,5
1995	0,9	0,9	-0,2	0,5	-0,6	-1,4
1996	1,3	1,3	1,3	0,5	1,2	0,7
1997	-1,2	-1,3	-0,9	-0,3	-0,1	2,0
1998	0,6	0,1	0,7	0,5	-0,3	-0,8
1999	0,7	0,0	1,0	0,7	0,3	0,1
2000	-0,6	-0,8	-0,2	-0,6	0,2	0,2
2001	-0,7	-1,2	-0,1	-1,2	0,2	0,4
2002	-0,8	-1,4	-1,2	-0,7	0,6	1,8
2003	0,2	0,2	-0,2	0,6	0,3	-0,5
2004	-0,7	0,1	-1,2	-0,5	0,9	0,6
2005	0,2	0,3	-0,4	-0,1	-0,5	-0,1
2006	-0,7	-0,8	0,1	-0,4	-1,3	-1,1
2007	0,7	-0,1	0,1	0,7	-0,1	-1,0
2008	1,0	0,5	0,1	1,2	0,9	-0,6
2009	-1,5	-1,6	-1,1	-1,6	-0,9	0,4
2010	1,4	2,2	1,8	1,4	0,6	0,1

Tabla A.13.

Valores anuales del índice de anomalía normalizado de precipitación semestral (ANP-6) entre los meses de mayo a octubre para las regiones climáticas del país.

Vertiente Región	Pacífico				Caribe	
	Norte	Central	Sur	Valle Central	Zona Norte	Caribe
1981	1,1	0,2	0,1	0,4	0,1	-1,3
1982	-0,1	-0,8	-0,3	-0,2	1,0	1,6
1983	-0,3	-1,9	-0,3	-0,5	-0,6	0,3
1984	-0,2	-0,6	-0,2	0,3	0,8	-0,3
1985	0,0	0,6	-1,7	-0,6	-2,1	-0,6
1986	0,1	-0,1	-1,4	-1,3	-1,7	0,0
1987	-0,5	-1,6	0,0	-0,4	-1,5	0,2
1988	2,0	1,4	2,6	1,3	0,6	-0,5
1989	0,2	-1,0	0,2	-1,2	-0,1	-1,1
1990	-0,8	0,7	0,7	-0,3	0,1	0,7
1991	-0,7	-0,4	-1,0	-0,8	0,3	0,2
1992	-1,1	-0,9	-0,7	-0,7	-0,5	0,1
1993	-0,8	-0,3	0,3	-0,6	-0,1	-0,6
1994	-1,0	-0,5	-0,7	-1,3	-1,6	1,6
1995	1,0	0,6	0,6	1,1	0,4	-1,1
1996	1,2	1,6	2,1	0,7	1,1	-0,2
1997	-1,9	-1,3	-1,5	-1,0	0,3	2,7
1998	0,7	0,1	0,8	0,7	-0,3	-0,3
1999	0,8	0,1	0,9	0,6	-0,1	-0,7
2000	-0,9	-0,7	0,3	-0,6	-0,4	0,0
2001	-0,6	-0,8	-0,6	-1,4	-0,6	0,2
2002	-0,6	-0,7	-0,5	-0,2	2,0	2,5
2003	0,2	0,7	0,5	0,6	0,9	-0,2
2004	-0,6	1,0	-0,4	-0,1	0,8	0,7
2005	-0,1	0,8	-1,1	0,6	-0,9	-0,9
2006	-0,7	0,0	0,1	0,0	-0,9	-1,0
2007	1,6	0,6	0,2	1,6	0,9	-0,9
2008	1,6	1,4	0,6	2,4	1,8	-0,5
2009	-1,2	-0,7	-0,9	-1,0	-0,1	0,4
2010	1,7	2,3	1,6	2,0	0,4	-0,8

Tabla A.14.

Valores anuales del índice normalizado de precipitación semestral (SPI-6) entre los meses de mayo a octubre para las regiones climáticas del país.

Vertiente Región	Pacífico				Caribe	
	Norte	Central	Sur	Valle Central	Zona Norte	Caribe
1981	1,2	0,7	-0,2	0,8	0,9	-0,6
1982	0,2	-0,2	-0,4	0,4	1,3	1,5
1983	-0,1	-1,3	-0,6	0,0	0,2	0,7
1984	0,0	-0,1	0,1	0,7	1,4	0,3
1985	0,1	0,8	-0,4	-0,2	-0,9	-0,1
1986	0,2	0,3	-0,1	-0,9	-0,7	0,2
1987	-0,3	-1,3	-0,1	-0,1	-0,4	0,4
1988	1,2	1,7	2,1	1,3	0,8	-0,2
1989	0,2	-0,7	-0,1	-0,4	0,2	-0,1
1990	-0,6	0,8	0,7	0,0	0,4	0,9
1991	-0,5	-0,1	-0,9	-0,6	0,5	0,7
1992	-0,8	-0,7	-0,9	-0,6	-0,2	0,2
1993	-0,5	-0,2	0,4	-0,4	-0,1	-0,1
1994	-0,9	-0,4	-0,8	-1,1	-1,1	1,2
1995	0,7	0,7	0,4	0,8	0,2	-0,9
1996	1,0	1,5	1,6	0,5	0,6	-0,2
1997	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	0,1	2,1
1998	0,6	0,0	0,6	0,5	-0,2	-0,3
1999	0,7	0,1	0,8	0,5	0,0	-0,5
2000	-0,6	-0,8	0,1	-0,6	-0,5	-0,2
2001	-0,6	-1,0	-0,4	-1,2	-0,8	0,0
2002	-0,5	-1,0	-0,7	-0,5	1,2	1,6
2003	0,1	0,4	0,2	0,4	0,2	-0,3
2004	-0,5	0,7	-0,3	-0,5	0,2	0,2
2005	0,0	0,4	-0,8	0,2	-0,8	-1,3
2006	-0,7	-0,4	-0,3	-0,5	-1,3	-1,3
2007	1,1	0,1	0,4	1,0	0,0	-1,3
2008	1,1	0,9	0,1	1,6	0,4	-0,8
2009	-1,3	-1,3	-1,0	-1,4	-1,1	-0,2
2010	1,1	1,7	1,3	1,1	-0,5	-1,4

Tabla A.15.

Ranquin de los acumulados de precipitación promedio de las épocas lluviosas a nivel nacional durante el periodo 1981-2010

Posición	Año	Acumulado
1	2010	2757,9
2	2008	2719,4
3	1988	2663,3
4	1996	2578,4
5	2007	2499,8
6	1995	2392,7
7	2003	2351,4
8	1998	2301,8
9	1999	2295,8
10	2004	2280,4
11	1981	2253,2
12	1990	2218,5
13	2005	2203,7
14	2002	2199,6
15	1982	2172,0
16	1984	2119,2
17	1985	2034,0
18	2006	2028,7
19	1991	1988,1
20	1993	1984,2
21	2000	1958,6
22	1986	1951,9
23	1994	1941,6
24	1997	1905,3
25	1989	1895,9
26	2009	1894,0
27	1992	1893,7
28	1987	1891,5
29	1983	1879,5
30	2001	1869,1

Tabla A.15.*Épocas lluviosas donde estuvo presente el fenómeno de El Niño*

Año	Trimestre inicio ENOS	Pacífico Norte	Pacífico Central	Pacífico Sur	Valle Central	Zona Norte	Caribe
1982	MAM	0,2	-0,2	-0,4	0,4	1,3	1,5
1983	MJJ	-0,1	-1,3	-0,6	0,0	0,2	0,7
1986	ASO	0,2	0,3	-0,1	-0,9	-0,7	0,2
1987		-0,3	-1,3	-0,1	-0,1	-0,4	0,4
1991	AMJ	-0,5	-0,1	-0,9	-0,6	0,5	0,7
1992	MJJ	-0,8	-0,7	-0,9	-0,6	-0,2	0,2
1994	ASO	-0,9	-0,4	-0,8	-1,1	-1,1	1,2
1997	AMJ	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	0,1	2,1
2002	MJJ	-0,5	-1,0	-0,7	-0,5	1,2	1,6
2004	JJA	-0,5	0,7	-0,3	-0,5	0,2	0,2
2006	ASO	-0,7	-0,4	-0,3	-0,5	-1,3	-1,3
2009	JJA	-1,3	-1,3	-1,0	-1,4	-1,1	-0,2

Tabla A.16.*Épocas lluviosas donde estuvo presente el fenómeno de La Niña*

Año	Trimestre inicio ENOS	Pacífico Norte	Pacífico Central	Pacífico Sur	Valle Central	Zona Norte	Caribe
1985	JAS	0,1	0,8	-0,4	-0,2	-0,9	-0,1
1988	AMJ	1,2	1,7	2,1	1,3	0,8	-0,2
1989	AMJ	0,2	-0,7	-0,1	-0,4	0,2	-0,1
1995	JAS	0,7	0,7	0,4	0,8	0,2	-0,9
1998	JJA	0,6	0,0	0,6	0,5	-0,2	-0,3
1999		0,7	0,1	0,8	0,5	0,0	-0,5
2000		-0,6	-0,8	0,1	-0,6	-0,5	-0,2
2007	JJA	1,1	0,1	0,4	1,0	0,0	-1,3
2008	MJJ	1,1	0,9	0,1	1,6	0,4	-0,8
2010	MJJ	1,1	1,7	1,3	1,1	-0,5	-1,4

Tabla A.17.*Épocas lluviosas en años Neutro del fenómeno de ENOS*

Año	INDICE	Pacífico Norte	Pacífico Central	Pacífico Sur	Valle Central	Zona Norte	Caribe
1981	-	1,2	0,7	-0,2	0,8	0,9	-0,6
1984	Niña+1	0,0	-0,1	0,1	0,7	1,4	0,3
1990	+	-0,6	0,8	0,7	0,0	0,4	0,9
1993	+	-0,5	-0,2	0,4	-0,4	-0,1	-0,1
1996	Niña+1	1,0	1,5	1,6	0,5	0,6	-0,2
2001	Niña+1	-0,6	-1,0	-0,4	-1,2	-0,8	0,0
2003	Niño+1	0,1	0,4	0,2	0,4	0,2	-0,3
2005	Niña-1	0,0	0,4	-0,8	0,2	-0,8	-1,3

Tabla A.18.

Coeficientes de correlación entre el SPI-24 para cada vertiente y las oscilaciones multidecenales de la AMO y PDO.

Oscilación	SPI-24 Pacífico	p-valor	SPI-24 Caribe	p-valor
AMO	0,251	0,429	0,240	0,515
PDO	-0,244	0,087	-0,253	0,061